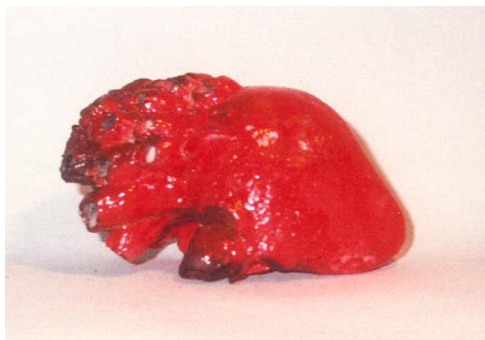


ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ»



Διπλωματική εργασία με θέμα :
«Μελέτη της επίδρασης των ατμοσφαιρικών ρύπων στις εισαγωγές
ασθενών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο σε νοσοκομεία,
για την πόλη των Αθηνών»

Γορανίτης Κων/νος Α.Μ.: 23203

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : Αικατερίνη Λαζαρίδη, Επίκ. καθηγήτρια

Μέλη επιτροπής :
Κων/νος Αμπελιώτης, Λέκτορας
Δημοσθένης Παναγιωτάκος, Λέκτορας

*Γιατί Μάνα Γη δεν είσαι ατελείωτη;
Γιατί δεν δίνεις απλόχερα ό,τι και όσα
σου ζητάμε;
Κακομαθημένα παιδιά σου εμείς
πιστέψαμε στο κέρασ της Αμάλθειας
που, όμως, ήταν ένα χοντροκομμένο ψέμα
και αποδιωχτήκαμε με πύρινη ρομφαία
από τον Παράδεισο των απολαύσεων χωρίς μέτρο.
Παραβλέποντας την ανθρώπινη ουσία μας,
αμαρτήσαμε...
Υβριστές της αρμονίας, ανίδεοι και άξεστοι,
ξεχάσαμε το πολυτιμότερο: την ισορροπία.*

(Γεωργόπουλος, ΓΗ, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης, 2001)

Ευχαριστίες

Οι εικόνες στο εξώφυλλο της διπλωματικής εργασίας ανήκουν στην εικαστικό κ. Μαρία Νεμπεγλήρη και προέρχονται από μια σειρά φωτογραφήσεων σε γλυπτά έργα της καλλιτέχνης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω μια σειρά από ανθρώπους ο καθένας από τους οποίους, με τον τρόπο του, συνέβαλε σημαντικά στην πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Αρχίζοντας από τους τρεις καθηγητές μου, που αποτελούν και την τριμελή επιτροπή της διπλωματικής εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Αμπελιώτη για τις πολύτιμες συμβουλές του, τον κ. Δημοσθένη Παναγιωτάκο για τη σημαντική συνεισφορά του ειδικά κατά την εκπόνηση του εμπειρικού μέρους της εργασίας, όπως και την επιβλέπουσα καθηγήτρια της εργασίας κ. Αικατερίνη Λαζαρίδη για την ηθική συμπαράσταση και υπευθυνότητα που διαρκώς μετέδιδε απέναντι μου αλλά και για τις επίπονες και ουσιαστικές της παρατηρήσεις κατά τη δόμηση και συγγραφή της εργασίας. Από τον Πανεπιστημιακό χώρο του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου δεν θα μπορούσαν να λείψουν ευχαριστίες προς το συμφοιτητή μου κ. Πέτρο Κοσμά για τις πολύτιμες συμβουλές του μέσα από την πρόσφατη εμπειρία του.

Στην συνέχεια, απευθυνόμενος στον εργασιακό μου χώρο, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου και τον προϊστάμενο μας, για την επαγγελματική κάλυψη που μου προσέφεραν σε αρκετά καίρια σημεία καθ' όλη τη χρονική διάρκεια της διεξαγωγής της παρούσας εργασίας.

Απευθυνόμενος στους κοντινούς φίλους και στο οικογενειακό μου περιβάλλον θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την υπομονή τους και την αμέριστη εμπιστοσύνη που μου έδειξαν σε όλο το χρονικό διάστημα των μεταπτυχιακών μου σπουδών, από τη στιγμή της προετοιμασίας για την εισαγωγή μου, τα δύομισι έτη της φοίτησης και της εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω σε δύο συγκεκριμένα πρόσωπα (το ένα είναι εκλιπόν), την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Το πρώτο πρόσωπο είναι η αξιαγάπητη γιαγιά μου η κ. Μαρία Καραγεώργου, γεγονός που της είχα υποσχεθεί όταν έφευγε για το μεγάλο της ταξίδι, διότι εξαιτίας της σκληρής προετοιμασίας για την εισαγωγή μου στο συγκεκριμένο πρόγραμμα σπουδών, δεν πρόλαβα να την αποχαιρετήσω την τελευταία της νύχτα.

Το δεύτερο πρόσωπο είναι η σύζυγος μου κ. Μαρία Νεμπεγλήρη, της οποίας η συμπαράσταση και η υπομονή ήταν καταλυτικοί παράγοντες για την επιτυχή πραγματοποίηση των σπουδών μου και της εργασίας αυτής ειδικότερα. Ελπίζω οι γνώσεις και οι εμπειρίες που έλαβα, μέσα από τη συμμετοχή μου στο συγκεκριμένο πρόγραμμα σπουδών, να μας βοηθήσουν σημαντικά στη συνέχεια της ζωής μας.

Περίληψη

Στη συγκεκριμένη μελέτη ερευνήθηκε κατά πόσο συγκεκριμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O₃), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀, PM_{2.5}) και το διοξείδιο του θείου (SO₂) συσχετίζονται με τις εισαγωγές ασθενών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο σε νοσοκομεία της ευρύτερης περιφέρειας των Αθηνών και για μια χρονική διάρκεια 20 μηνών, αφού λήφθηκαν υπόψη και κλιματικοί παράγοντες. Η χρονική περίοδος στην οποία αναφέρονται τα δεδομένα της μελέτης και εξετάζεται η στατιστική τους συσχέτιση είναι από 1/1/2001 έως 31/8/2002 και οι εισαγωγές των ασθενών αναφέρονται και στα δυο φύλα μαζί όπως και χωριστά. Η επεξεργασία των δεδομένων βασίστηκε στο πρωτόκολλο του προγράμματος APHEA-2 και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων (κλιματικών, τιμών ρύπων και εισαγωγών), πραγματοποιείται μέσω γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (με παλινδρόμηση Poisson).

Για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) διακρίνεται μια σημαντική συσχέτιση με τον αριθμό των εισαγωγών, η οποία γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη η χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, γεγονός που κατά ένα μέρος ερμηνεύεται λόγω των υψηλότερων συγκεντρώσεων του ρύπου την περίοδο του χειμώνα. Το όζον (O₃) επηρεάζει το γυναικείο φύλο αποκλειστικά και οι συγκεντρώσεις του φτάνουν σε υψηλά επίπεδα την καλοκαιρινή περίοδο. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) έχει τη μικρότερη συσχέτιση με τις εισαγωγές από τους εξεταζόμενους ρύπους ενώ το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) έχει σημαντική συσχέτιση η οποία δείχνει να επηρεάζεται, αλλά όχι σημαντικά, από κλιματικούς παράγοντες. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀, PM_{2.5}) έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, χωρίς οι συγκεντρώσεις τους να δείχνουν κάποια εποχική προτίμηση ενώ οι επιδράσεις τους αυξάνονται ελαφρώς με τις ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Το διοξείδιο του θείου (SO₂) φαίνεται να είναι αποκλειστικά χειμερινός ρύπος, ως προς τις συγκεντρώσεις του, ενώ ως προς τις επιδράσεις του εμφανίζει μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπως και μια, μικρότερου όμως βαθμού, με τις υψηλότερες.

Η επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη δημόσια υγεία των πολιτών της Αθήνας, όπως διαφαίνεται μέσα από τα αποτελέσματα των στατιστικών συσχετίσεων είναι σημαντική και ο ρόλος τους στις περισσότερες περιπτώσεις αποδεικνύεται ανεξάρτητος από κλιματικούς παράγοντες. Μερικοί από τους εξεταζόμενους ρύπους εμφανίζουν σημαντικές επιδράσεις στην υγεία των Αθηναίων, χωρίς μάλιστα να έχουν παρουσιάσει καμία υπέρβαση των ενδεικτικών οριακών τιμών που θέτουν ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) και οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ουσιαστικές δράσεις και προτάσεις από την πολιτεία στο σύνολο της αλλά και από το κάθε πολίτη χωριστά, θα πρέπει να συνδυαστούν και να στοχεύουν στον περιορισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων στην ατμόσφαιρα της πόλης, με αποτέλεσμα τη

μείωση ή ακόμη και την πλήρη αποφυγή των επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στην προσπάθεια προσανατολισμού σε περιβαλλοντικές πολιτικές είναι να πεισθεί το σύνολο των πολιτών για την αναγκαιότητα και την αποτελεσματικότητά τους μέσα από ενημέρωση για τα οφέλη της μείωσης των συγκεντρώσεων της ρύπανσης σε οικονομικό επίπεδο και σε θέματα υγείας.

Summary

In this specific study the research was dealing with the fact whether specific atmospheric pollutants, like the carbon monoxide (CO), the ozone (O₃), the monoxide of nitrogen (NO), the dioxide of nitrogen (NO₂), the suspended particles (PM₁₀, PM_{2.5}) and the dioxide of sulphur (SO₂) are connected with the admissions of patients with acid coronary syndrome in the hospitals of the broader area of Athens and for a time duration of 20 months, given that climate conditions have been taken into consideration. The time period to which the data of the study refer to and to which their statistical correlation is under examination dates from 1/1/2001 until 31/8/2002 and, the admissions of patients refer to both sexes together and separately, as well. The data process was based on the protocol of Aphea-2 program and the statistical analysis of the data (climate, values of pollutants and admissions), is realised by means of generalised linear models (with Poisson regression).

In carbon monoxide (CO) it is noticed a significant correlation with regard to the number of admissions, which becomes considerably larger when low temperature of environment is taken into consideration; a fact which is partially explained on grounds of the higher concentrations of pollutant during winter period. The ozone (O₃) affects the female sex exclusively and its concentrations reach high levels during summer period. The monoxide of nitrogen (NO) has the smaller correlation with the admissions from the examined pollutants while the dioxide of nitrogen (NO₂) has a significant correlation which seems to be affected, but not considerably, from climate conditions. The suspended particles (PM₁₀, PM_{2.5}) have considerable effects on human health, without their concentrations presenting any seasonal preference while their effects are slightly increased during minimum and maximum temperatures of environment. The dioxide of sulphur (SO₂) seems to be an exclusively winter pollutant, with regard to each concentrations, whereas as to its effects it presents a statistically significant correlation during low temperatures of environment and, also a smaller one, nevertheless of smaller degree during the highest ones.

The effect of atmospheric pollutants in the public health of the citizens of Athens, as it emerges through the results of the statistical correlations is significant and their role in most of the cases proves to be not depending upon climate conditions. Some of the examined pollutants present considerable effects on the health of the Athenians, and moreover without having presented any exceeding of the indicative marginal values placed by the World Organism of Health (W.H.O.) and the Directives of the European Union. Substantial actions and proposals realized by the State in its entirety but by each citizen separately as well, must be combined and targeted to the restriction of concentrations of pollutants in the atmosphere of the city, with the consequence of the reduction or even the full avoidance of their effects on human health. One of the most important matters in the effort of orientation to environmental policies is the citizens

as a body to be convinced as to their necessity and effectiveness through information regarding the benefits resulting from the reduction of concentrations of pollution on economic level and on health matters.

Εισαγωγή

Από τη στιγμή εκείνη που ο άνθρωπος επικράτησε στο γήινο οικοσύστημα ως κυρίαρχο είδος και άρχισε να παρεμβαίνει σε αυτό, διαταράσσοντας την φυσική του κατάσταση με δραστηριότητες και έργα, γεννήθηκε η έννοια της ανάπτυξης των ανθρώπινων κοινωνιών. Στοχεύοντας πάντοτε στην ανάπτυξη και εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών οδηγηθήκαμε στην υπερεκμετάλλευση και στην αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, στη ρύπανση και στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, που έχουν σαν άμεσο αποτέλεσμα την υποβάθμιση και καταστροφή πολλές φορές των συνθηκών υγιούς διαβίωσης και εξέλιξης του ανθρώπινου είδους στον πλανήτη Γη (Παυλόπουλος, 2001).

Είναι αρκετά κοινότυπη αλλά σημαντική η διαπίστωση πως αυτοί που προωθούν τις αναπτυξιακές διαδικασίες σε παγκόσμια κλίμακα, δεν πληρώνουν μια σειρά από εξωτερικές επιβαρύνσεις που προκαλούν στο κοινωνικό σύνολο και τη φύση. Αυτό γίνεται, διότι το μεν κοινωνικό κόστος, όπως για παράδειγμα οι επιπτώσεις της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, δεν είναι εύκολα μετρήσιμο μέγεθος, το δε κόστος των φυσικών πόρων θεωρούνταν μέχρι πρόσφατα μηδενικό δεδομένης της αφθονίας του. Η παραγόμενη ρύπανση, οι προκαλούμενες ασθένειες, η αισθητική ρύπανση, η υποβάθμιση των υδατικών πόρων και η εξάντληση των μη ανανεώσιμων πόρων, η εξαφάνιση ζώων και φυτών και η εντατικοποίηση της εργασίας είναι ατυχή γεγονότα για τα οποία κανείς δεν αισθάνεται υποχρεωμένος να πληρώσει. Εδώ και παραπάνω από δυο δεκαετίες, όμως η οικολογική θεώρηση των πραγμάτων, επέστησε την προσοχή των ειδικών οικονομολόγων, αλλά και των απλών ανθρώπων στο γεγονός πως οι πόροι αυτοί δεν είναι καθόλου άφθονοι, πυροδοτώντας τη συζήτηση για τη βιωσιμότητα (αειφορικότητα) των παραγωγικών διαδικασιών (Μοδινός, 1992).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι το απεγνωσμένο επιχείρημα αυτών που υποστηρίζουν πως με τη βοήθεια της, θα υπάρξει φθηνή και άφθονη ενέργεια που θα βοηθήσει την ανθρώπινη κοινωνία να θρέψει, να ντύσει και να στεγάσει έναν πληθυσμό πολλαπλάσιο του σημερινού και ταυτόχρονα να κρατήσει τις περιβαλλοντικές ισορροπίες άθικτες ή τουλάχιστον στην ίδια κατάσταση με σήμερα. Το επιχείρημα αυτό παραβλέπει πως ακόμα και σήμερα η τεχνολογία έχει αποτύχει να θρέψει, να ντύσει και να στεγάσει τα σχεδόν 6 (γύρω στο 1998) δισεκατομμύρια ανθρώπινων ζώων του πλανήτη. Η τεχνολογία δεν μπορεί να προχωρήσει πιο μπροστά από τις ανάγκες του ανθρώπινου πληθυσμού, αν πρώτα δεν τις προσεγγίσει. Και δεν υπάρχουν ενδείξεις που να μας πείθουν πως αυτό θα επιτευχθεί ποτέ (Ehrlich *et al.*, 1973).

Η τεχνολογία εξελίσσεται αλματωδώς αναπτύσσοντας συνεχώς νέα υλικά και ουσίες των οποίων οι επιδράσεις μας είναι άγνωστες. Ευτυχώς και οι ιατρικές γνώσεις για τις βλαβερές επιδράσεις των διαφόρων ρύπων εμπλουτίζονται διαρκώς και η ίδια η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει πιο άμεση και συστηματική παρακολούθηση. Η εικόνα που όμως τελικά αποκτιέται είναι ότι αυτό το ξέφρενο ξέσπασμα της

τεχνολογίας κλείνει την πλάστιγγα προς την αρνητική κατεύθυνση, τουλάχιστον προς το παρόν, όσον αφορά το θέμα της ρύπανσης του περιβάλλοντος (Γεντεκάκης, 2003).

Διάφορα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν δείξει ότι υψηλά επίπεδα ρύπων σε συνδυασμό με αντίξοες καιρικές συνθήκες έχουν προκαλέσει τον πρόωρο θάνατο χιλιάδων ανθρώπων. Μελέτες επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ακόμη και σε υποτιθέμενα ακίνδυνα επίπεδα συγκέντρωσης της, έχουν δείξει ότι ελαφριές ή μέτριες αυξήσεις κατά τη διάρκεια ενός μήνα οδηγούν σε αυξημένη θνησιμότητα από καρδιαγγειακά νοσήματα (Γεντεκάκης, 2003). Η επιδημιολογία έχει ξεκάθαρες ενδείξεις σύνδεσης της αύξησης της συγκέντρωσης των ρύπων με εισαγωγές και θανάτους σε νοσοκομεία από καρδιαγγειακά νοσήματα όπως στηθάγχη, οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου και αρρυθμία (Routledge *et al.*, 2003).

Ο άνθρωπος για να εξασφαλίσει τη προστασία της υγείας του πρέπει να σεβαστεί το φυσικό οικοσύστημα που τον φιλοξενεί, όπως και να αποκτήσει συναίσθηση της αλληλεξάρτησης του με αυτό. Πρέπει να διαπιστώσει ότι θα ενεργεί για ατομικούς σκοπούς μόνο όταν αυτοί συμπίπτουν με αυτούς της βιοκοινότητας στην οποία ανήκει, ανεβάζοντας έτσι σε υψηλότερες βαθμίδες τον υλικό και πνευματικό κόσμο που ζει. Πρέπει επίσης να διαπιστώσει ότι ανάμεσα στην αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων που προτείνει η σημερινή μορφή ανάπτυξης των σύγχρονων κοινωνιών και της καθολικής στασιμότητας υπάρχει και η πρόταση της Βιώσιμης (Αειφορικής) Ανάπτυξης, η οποία έχει ως στόχο τη διατήρηση των φυσικών πόρων και για το μέλλον, ώστε να δίνεται η δυνατότητα και στις επόμενες γενεές να ικανοποιούν τις ανάγκες τους σε ένα εξίσου βιώσιμο περιβάλλον. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στην προσπάθεια προσανατολισμού σε περιβαλλοντικές πολιτικές είναι να πεισθεί το σύνολο των πολιτών για την αναγκαιότητα και την αποτελεσματικότητά τους μέσα από ενημέρωση για τα οφέλη της μείωσης των συγκεντρώσεων της ρύπανσης σε οικονομικό επίπεδο και σε θέματα υγείας. Κάτι τέτοιο μόνο θα οδηγήσει στην αλλαγή συμπεριφοράς και την υιοθέτηση ενός πιο ευσυνειδητού τρόπου ζωής, που θα περιορίσει την άσκοπη σπατάλη φυσικών πόρων, με θετικότερες συνέπειες στο περιβάλλον, στην ανθρώπινη υγεία και την οικονομία.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση ανάμεσα στους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις εισαγωγές σε νοσοκομεία από καρδιαγγειακές παθήσεις. Με βάση αυτές, στη παρούσα εργασία έγινε μία προσπάθεια αποτύπωσης του φαινομένου αυτού στην πόλη της Αθήνας. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να ερευνηθεί κατά πόσο συγκεκριμένοι ατμοσφαιρικοί τύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O₃), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀, PM_{2.5}) και το διοξείδιο του θείου (SO₂), συσχετίζονται με τον αριθμό των εισαγωγών ανδρών και γυναικών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο σε νοσοκομεία της ευρύτερης περιφέρειας των Αθηνών και για μια χρονική διάρκεια 20 μηνών, αφού ληφθούν υπόψη και κλιματικοί παράγοντες. Κατά αυτόν τον τρόπο θα αποδειχθεί ο ανεξάρτητος και δυνητικός ρόλος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, κάτι που είναι απόλυτα αναγκαίο ώστε να μην επιμερίζονται μερικώς ή εξολοκλήρου οι ευθύνες σε τυχαίους παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες. Αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η συλλογή, η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων από τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, τις έκτακτες εισαγωγές των Αθηναίων πολιτών στα νοσοκομεία της πόλης και τις τιμές των κλιματικών παραμέτρων. Η χρονική περίοδος για την οποία

αναφέρονται τα δεδομένα της μελέτης και εξετάζεται η στατιστική τους συσχέτιση είναι από 1/1/2001 έως 31/8/2002.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια ανάλυση του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των μετεωρολογικών συνθηκών που τη συνοδεύουν, μια αναφορά χωριστά στον κάθε ένα από τους κυριότερους ρύπους που συναντώνται σε μια αστική περιοχή, όπως και των πηγών τους και μια προσέγγιση της περίπτωσης της Αθήνας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται, βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, αναλυτικά η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνολικά αλλά και του κάθε ρύπου χωριστά στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου. Παράλληλα, με βάση τα αποτελέσματα αντίστοιχων ερευνών, αναφέρονται οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην πρόκληση νοσηρότητας και θνησιμότητας από καρδιαγγειακά επεισόδια σε μεγαλουπόλεις ανά τον κόσμο, λαμβάνοντας ή μη, υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους.

Στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφεται η μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος, όπου περιγράφονται οι πηγές των δεδομένων, ο τρόπος επεξεργασίας τους και η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την συσχέτιση τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα της έρευνας, γίνεται αναλυτικός σχολιασμός τους και σύγκριση με αντίστοιχες έρευνες, ενώ στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο καταγράφονται συμπεράσματα και προτάσεις με βάση την παρούσα έρευνα και την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ 1^ο

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1	Βασικές Έννοιες.	23
1.1.1	Ρύπανση.	23
1.1.2	Αέριοι Ρύποι.	23
1.1.3	Ιστορικό ρύπανσης και δράσης για το περιβάλλον.	23
1.1.3.1	Προϊστορική περίοδος.	23
1.1.3.2	Αρχαιότητα – Μεσαίωνας.	24
1.1.3.3	Βιομηχανική επανάσταση.	24
1.1.3.4	20 ^{ος} αιώνας.	24
1.1.3.5	Ευαισθητοποίηση και δράσεις για το περιβάλλον την εποχή μας.	26
1.2	Ατμόσφαιρα.	27
1.2.1	Δομή ατμόσφαιρας.	27
1.2.2	Χημεία ατμόσφαιρας.	29
1.2.2.1	Σύσταση της καθαρής ατμόσφαιρας.	29
1.2.2	Παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα - Κατηγορίες ρύπων.	30
1.2.2.3	Χημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας.	33
1.2.2.3.1	Καύση.	36
1.2.2.3.2	Σχηματισμός ελευθέρων ριζών.	37
1.2.2.3.3	Φωτοχημικά οξειδωτικά (οξειδία, όζον, PAN).	38
1.2.2.3.4	Φωτοχημικό νέφος- καπνομίχλη.	41
1.2.2.3.5	Φωτοοξείδωση του διοξειδίου του θείου (SO ₂).	42
1.2.2.4	Μετεωρολογικές συνθήκες ευνοϊκές προς τη ρύπανση.	43
1.2.2.4.1	Προϋποθέσεις μεταφοράς και διασποράς ρύπων.	43
1.2.2.4.2	Σχέσεις πίεσης και θερμοκρασίας στη τροπόσφαιρα.	44
1.2.2.4.3	Προσδιορισμός της σταθερότητας της κατώτερης ατμόσφαιρας.	44
1.2.2.4.4	Αναστροφές θερμοκρασίας.	44
1.2.2.4.5	Θερμοκρασιακή αναστροφή και φωτοχημεία στα αστικά κέντρα.	46

1.3	Ατμοσφαιρικοί ρύποι	49
1.3.1	Πηγές ρύπων.	49
1.3.1.1	Φυσικές πηγές ρύπων.	50
1.3.1.2	Ανθρωπογενείς πηγές ρύπων (στατικές – κινητές).	51
1.3.1.2.1	Στατικές πηγές ρύπανσης.	52
1.3.1.2.2	Κινητές πηγές ρύπανσης.	54
1.3.2	Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι.	56
1.3.2.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).	56
1.3.2.1.1	Χαρακτηριστικά.	56
1.3.2.1.2	Προέλευση ρύπου.	57
1.3.2.1.3	Μηχανισμοί απομάκρυνσης.	58
1.3.2.1.4	Αστικό περιβάλλον.	58
1.3.2.1.5	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.	59
1.3.2.1.6	Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.	59
1.3.2.2	Αιωρούμενα σωματίδια (PM).	60
1.3.2.2.1	Χαρακτηριστικά.	60
1.3.2.2.2	Κατηγορίες σωματιδίων - προέλευση ρύπου.	61
1.3.2.2.3	Αστικό περιβάλλον.	63
1.3.2.2.4	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.	65
1.3.2.2.5	Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.	66
1.3.2.3	Διοξείδιο του Θείου (SO ₂).	66
1.3.2.3.1	Χαρακτηριστικά.	66
1.3.2.3.2	Προέλευση ρύπου.	67
1.3.2.3.3	Αστικό περιβάλλον.	67
1.3.2.3.4	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.	68
1.3.2.3.5	Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.	69
1.3.2.4	Οξείδια του Αζώτου (NO _x).	69
1.3.2.4.1	Χαρακτηριστικά.	69
1.3.2.4.2	Προέλευση ρύπων.	69
1.3.2.4.3	Αστικό περιβάλλον.	70
1.3.2.4.4	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.	70
1.3.2.4.5	Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.	71
1.3.2.5	Όζον (O ₃).	72
1.3.2.5.1	Χαρακτηριστικά.	72
1.3.2.5.2	Σχηματισμός ρύπου.	72

1.3.2.5.3	Αστικό περιβάλλον.	72
1.3.2.5.4	Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.	73
1.4	Χαρακτηριστικά της πόλης των Αθηνών.	75
1.4.1	Εισαγωγή.	75
1.4.2	Χαρακτηριστικά.	75
1.4.2.1	Γεωγραφική θέση – τοπογραφία – φωτοχημικό νέφος.	75
1.4.2.2	Κυκλοφοριακό (οδικό δίκτυο – μεταφορικά μέσα).	77
1.4.2.3	Πολεοδομία - ελεύθεροι χώροι – αστικοποίηση.	78
1.4.2.4	Επίδραση τοπικών κλιματικών παραμέτρων και μετεωρολογικών συνθηκών.	79
1.4.2.5	Σταθερές - κινητές πηγές της πόλης.	81
1.4.2.5.1	Κινητές πηγές.	81
1.4.2.5.2	Νοθεία καυσίμων.	86
1.4.2.5.3	Θεσμικό πλαίσιο καυσίμων.	87
1.4.2.5.4	Σταθερές πηγές.	88
1.4.2.6	Ιστορικό ρύπανσης.	89
1.4.2.7	Υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων για τη περίοδο 2001-2002 στη πόλη της Αθήνας.	92
1.4.2.7.1	Υπερβάσεις των οριακών τιμών για τα αιωρούμενα σωματίδια (2001-2002).	92
1.4.2.7.2	Υπερβάσεις των οριακών τιμών για το όζον (2001-2002).	93
1.4.3	Θεσμικό πλαίσιο.	94
1.4.3.1	Ορισμοί.	94
1.4.3.2	Νομοθεσία για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους στην Ε.Ε. (CO, NO _x , SO ₂ , PM, O ₃).	95
1.4.3.2.1	Ιστορικό.	95
1.4.3.2.2	Υπάρχουσα κατάσταση σήμερα.	97
1.4.3.2.3.	Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα.	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

2.1	Εισαγωγή.	102
2.2	Επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.	102
2.2.1	Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.	102
2.2.1.1	Συστηματικός ερεθισμός.	106
2.2.1.1.1	Παραγωγή CPR (πρωτεΐνης C).	106
2.2.1.1.2	Παραγωγή PMNs (πολυμορφοπυρηνικών λευκοκυττάρων).	106
2.2.1.1.3	Αρτηριακή αγγειοσυστολή – Ενδοθηλιακή δυσλειτουργία.	107
2.2.1.1.4	Αρτηριοσκλήρωση – Ρήξη πλάκας – Θρόμβωση.	108
2.2.1.2	Άμεσες επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων.	108
2.2.1.2.1	Αύξηση ινωδογόνου.	108
2.2.1.3	Αυτόματος καρδιακός έλεγχος.	109
2.2.1.4	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).	110
2.2.1.5	Αιωρούμενα σωματίδια (PM).	112
2.2.1.6	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).	115
2.2.1.7	Οξείδια του αζώτου (NO _x).	116
2.2.1.8	Όζον (O ₃).	117
2.2.2	Επιπτώσεις κλιματικών παραμέτρων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.	119
2.2.2.1	Παράγοντες επίδρασης.	119
2.2.2.2	Αποτελέσματα ερευνών.	121
2.3	Συσχέτιση ατμοσφαιρικών ρύπων και κλιματικών παραμέτρων με καρδιαγγειακά επεισόδια	122
2.3.1	Εισαγωγή - Έκθεση του αστικού πληθυσμού της Ε.Ε. σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης.	122

2.3.2	Αποτελέσματα ερευνών για την πόλη της Αθήνας.	122
2.3.2.1	Εισαγωγή.	122
2.3.2.2	Αθήνα (1975-1982).	123
2.3.2.3	Αθήνα (1984-1988).	123
2.3.2.4	Αθήνα (1987-1991).	123
2.3.2.5	Αθήνα (1988).	124
2.3.2.6	Αθήνα (1992-1997).	125
2.3.2.7	Επίδραση της συνοπτικής κυκλοφορίας ανέμου (1987-1991).	125
2.3.2.8	Αθήνα (2001).	126
2.3.3	Αποτελέσματα συσχετίσεων σε μεγάλες αστικές περιοχές ανά τον κόσμο.	128
2.3.3.1	Ευρωπαϊκή οδηγία 2005/0183.	128
2.3.3.2	Σάο Πάολο (1996-1998).	128
2.3.3.3	Χονγκ Κονγκ (1994-1995).	128
2.3.3.4	Ρώμη (01/95-06/97).	129
2.3.4	Αποτελέσματα συσχετίσεων σε μεγάλες αστικές περιοχές ανά τον κόσμο (με συγχετιτικούς παράγοντες).	129
2.3.4.1	Ολλανδία (1979-1987).	130
2.3.4.2	Τεχεράνη (1996-2991).	130
2.3.4.3	Ντιτρόιτ (1986-1989), Η.Π.Α., Τουσόν.	131
2.3.4.4	Καναδάς (1981-1991).	131
2.3.4.5	Λονδίνο (1976-1995).	131
2.3.4.6	Ν. Κορέα (1991-1997).	132
2.3.4.7	Παρίσι (1991-1995).	133
2.3.4.8	Σάο Πάολο (01/1994-08/1995).	133
2.3.4.9	Μιλάνο (1980-1989).	134
2.3.4.10	Βαλένθια (1994-1995).	134
2.3.4.11	Διοξείδιο του θείου (SO ₂), καπνός (BS) – 12 Ευρωπαϊκές πόλεις.	135
2.3.4.12	Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀) – 22 Ευρωπαϊκές πόλεις.	136
2.3.4.13	Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀) - 8 Ευρωπαϊκές πόλεις.	137
2.3.4.14	Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀) - 10 Ευρωπαϊκές πόλεις.	138
2.3.4.15	Αιωρούμενα σωματίδια (PM _{2.5}) – 6 Αμερικάνικες πόλεις.	138
2.3.4.16	Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀) – 21 Αμερικάνικες πόλεις.	140

2.3.4.17	Όζον (O ₃).	140
----------	-------------------------	-----

ΜΕΡΟΣ 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1	Εισαγωγή	143
3.2	Ρύποι	143
3.2.1	Τύπος δεδομένων.	143
3.2.2	Πηγές δεδομένων.	144
3.2.3.	Επεξεργασία δεδομένων.	146
3.2.3.1	Διαμόρφωση αρχείων.	146
3.2.3.2	Έλεγχος σημαντικού αριθμού έλλειψης τιμών ανά σταθμό.	146
3.2.3.3	Υπολογισμός της μέσης ημερήσιας τιμής του ρύπου.	146
3.2.3.4	Υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας τιμής του ρύπου.	147
3.2.3.5	Υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής για τους ρύπους CO και O ₃ .	147
3.2.3.6	Συμπλήρωση των ημερήσιων τιμών των ρύπων.	147
3.2.3.7	Συγχώνευση τιμών όλων των σταθμών ανά ρύπο.	148
3.2.3.8	Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές ρύπων.	148
3.3	Κλιματικές παράμετροι.	149
3.3.1	Τύπος δεδομένων.	149
3.3.2	Πηγές δεδομένων.	149
3.3.3	Επεξεργασία κλιματικών παραμέτρων.	149
3.3.3.1	Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων.	149
3.4	Εισαγωγές σε νοσοκομεία.	149
3.4.1	Τύπος δεδομένων.	149
3.4.2	Πηγές δεδομένων.	150
3.4.3	Επεξεργασία δεδομένων εισαγωγών στα νοσοκομεία.	150
3.4.3.1	Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές εισαγωγών.	150
3.5	Στατιστική επεξεργασία δεδομένων	151

3.5.1	Τύπος δεδομένων.	151
3.5.2	Σκοπός - τρόπος επίτευξης.	153
3.5.3	Βήματα στατιστικής επεξεργασίας.	153
3.5.3.1	Επιλογή κατάλληλου στατιστικού προγράμματος.	153
3.5.3.2	Επιλογή συγκεκριμένης στατιστικής μεθόδου.	153
3.5.3.3	Καταχώρηση κατηγορικών εξαρτημένων παραμέτρων (factors).	153
3.5.3.4	Καταχώρηση ανεξάρτητων επεξηγηματικών μεταβλητών (cell covariates).	153
3.5.3.5	Καταχώρηση λοιπών επιλογών στην ανάλυση.	153
3.5.3.6	Εμφάνιση αποτελεσμάτων.	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

4.1	Διαγράμματα μέσω μηνιαίων τιμών ρύπων, κλιματικών παραμέτρων.	155
4.1.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).	155
4.1.1.1	Σχολιασμός.	157
4.1.2	Όζον (O₃).	157
4.1.2.1	Σχολιασμός.	159
4.1.3	Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}, PM₁₀).	160
4.1.3.1	Σχολιασμός.	162
4.1.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).	163
4.1.4.1	Σχολιασμός.	164
4.1.5	Διοξείδιο του αζώτου (NO₂).	164
4.1.5.1	Σχολιασμός.	166
4.1.6	Διοξείδιο του θείου (SO₂).	166
4.1.6.1	Σχολιασμός.	168
4.1.7	Κλιματικές παράμετροι.	168
4.1.7.1	Σχολιασμός.	170
4.1.8	Εισαγωγές πολιτών στα νοσοκομεία.	170
4.1.8.1	Σχολιασμός.	171

4.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός συσχετίσεων ρύπων, κλιματικών παραμέτρων και εισαγωγών. 171

4.2.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (των δυο φύλων μαζί).	172
4.2.1.1	Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (των δυο φύλων μαζί).	176
4.2.2	Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (για τους άνδρες).	180
4.2.1.1	Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών για τους άνδρες.	184
4.2.3	Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (για τις γυναίκες).	188
4.2.3.1	Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών για τις γυναίκες	192
4.2.4	Σχολιασμός αποτελεσμάτων.	196
4.2.4.1	Μονοξείδιο του άνθρακα.	196
4.2.4.1.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων.	196
4.2.4.1.2.	Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.	197
4.2.4.2	Όζον (O ₃).	200
4.2.4.2.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων.	200
4.2.4.2.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.	202
4.2.4.3	Οξείδια του αζώτου (NO _x).	204
4.2.4.3.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων μονοξειδίου του αζώτου (NO).	204
4.2.4.3.2	Αποτελέσματα συσχετίσεων διοξειδίου του αζώτου (NO ₂).	205
4.2.4.3.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.	206
4.2.4.4	Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀ , PM _{2.5}).	208
4.2.4.4.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀).	208
4.2.4.4.2	Αποτελέσματα συσχετίσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM _{2.5}).	209
4.2.4.4.3	Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.	211
4.2.4.5	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).	214
4.2.4.5.1	Αποτελέσματα συσχετίσεων του διοξειδίου του θείου (SO ₂).	214
4.2.4.5.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.	215

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1	Η πόλη της Αθήνας.	218
5.2	Επίδραση ατμοσφαιρικών ρύπων.	219
5.3	Περιορισμοί μελέτης	221
5.3.1	Περιορισμένος αριθμός πηγών κλιματικών δεδομένων.	221
5.3.2	Ελλείψεις ημερήσιων εισαγωγών ανά φύλο.	222
5.4	Προτάσεις-δράσεις.	222
5.4.1	Μέτρα μείωσης των εκπομπών και των επιπτώσεων τους από κινητές πηγές ρύπανσης.	222
5.4.2	Μέτρα μείωσης των εκπομπών και των επιπτώσεων τους από κινητές πηγές ρύπανσης.	224
5.4.3	Παρεμβάσεις στη πόλη.	224

Κατάλογος πινάκων

Κεφάλαιο 1.

Πίνακας 1.1	Σύσταση καθαρής ατμόσφαιρας - Διαφορές ξηρού και υγρού αέρα.	30
Πίνακας 1.2	Χημικές ενώσεις – Βασικοί ρύποι της ατμόσφαιρας.	32
Πίνακας 1.3	Πηγές προέλευσης σημαντικότερων ρύπων.	50
Πίνακας 1.4	Πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας μιας αστικής περιοχής.	52
Πίνακας 1.5	Ανθρωπογενείς πηγές και βασικοί ρύποι.	54
Πίνακας 1.6	Τύποι μηχανών κινητών πηγών ρύπανσης και βασικοί ρύποι.	55
Πίνακας 1.7	Κατηγορίες πηγών ρύπανσης και συνεισφορά τους.	55
Πίνακας 1.8	Συνήθειες συγκεντρώσεις CO σε αστικές περιοχές.	58
Πίνακας 1.9	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 2000/69/EK.	59
Πίνακας 1.10	Βασικές κατηγορίες σωματιδίων και τα μεγέθη τους.	63
Πίνακας 1.11	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 1999/30/EK.	65
Πίνακας 1.12	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 2005/0183/EK.	66
Πίνακας 1.13	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 1999/30/EK.	68
Πίνακας 1.14	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 1999/30/EK.	71
Πίνακας 1.15	Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα βάσει 2002/3/EK.	74
Πίνακας 1.16	Στόλος κυκλοφορούντων οχημάτων σε Ελλάδα και Αθήνα και ετήσιο ποσοστό μεταβολής για το 2001.	82
Πίνακας 1.17	Εκπομπές καυσαερίων οχημάτων σε επίπεδο χώρας.	85
Πίνακας 1.18	Εξέλιξη Ευρωπαϊκών προδιαγραφών ντίζελ κίνησης και βενζίνης.	87
Πίνακας 1.19	Οριακές τιμές για τη προστασία της υγείας του ανθρώπου.	99

Κεφάλαιο 2.

Πίνακας 2.1	Ανθρώπινα συμπτώματα από έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα.	112
Πίνακας 2.2	Ανθρώπινα συμπτώματα από έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀).	115
Πίνακας 2.3	Ανθρώπινα συμπτώματα από έκθεση σε διοξείδιο του θείου (SO ₂).	116
Πίνακας 2.4	Ανθρώπινα συμπτώματα από έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου (NO ₂).	117
Πίνακας 2.5	Ανθρώπινα συμπτώματα από έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος (O ₃).	119

Κεφάλαιο 4.

Πίνακας 4.1	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	172
Πίνακας 4.2	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O ₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	173
Πίνακας 4.3	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	174
Πίνακας 4.4	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	174
Πίνακας 4.5	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM ₁₀ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	175
Πίνακας 4.6	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM _{2.5} και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	175
Πίνακας 4.7	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.	176
Πίνακας 4.8	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	180
Πίνακας 4.9	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O ₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	181
Πίνακας 4.10	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	182
Πίνακας 4.11	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	182
Πίνακας 4.12	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM ₁₀ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	183
Πίνακας 4.13	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM _{2.5} και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	183
Πίνακας 4.14	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.	184
Πίνακας 4.15	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	188
Πίνακας 4.16	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O ₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	189
Πίνακας 4.17	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	190
Πίνακας 4.18	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	190
Πίνακας 4.19	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM ₁₀ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	191
Πίνακας 4.20	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM _{2.5} και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	191
Πίνακας 4.21	Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO ₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.	192

Κατάλογος διαγραμμάτων – εικόνων

Κεφάλαιο 1.

Διάγραμμα 1.1	Δομή της ατμόσφαιρας – Είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας.	28
Διάγραμμα 1.2	Κατηγορίες ρύπων βάση προέλευσης-Χημικές αντιδράσεις.	34
Διάγραμμα 1.3	Ενεργειακά επίπεδα σχετιζόμενα με αντιδράσεις καύσης.	37
Διάγραμμα 1.4	Σημαντικότερες φωτοχημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας.	40
Διάγραμμα 1.5	Σχηματική αναπαράσταση αναστροφής θερμοκρασίας.	45
Διάγραμμα 1.6	Σκιαγράφηση της θερμοκρασιακής αναστροφής σε μεγαλούπολη.	46
Διάγραμμα 1.7	Ωριαίες συγκεντρώσεις πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων στη πόλη του Λος Άντζελες.	48
Διάγραμμα 1.8	Ωριαίες συγκεντρώσεις δευτερογενών ρύπων στη πόλη της Αθήνας.	48
Διάγραμμα 1.9	Τάσεις ιδιοκτησίας δίκτροχων και αυτοκινήτων στα κράτη της Ε.Ε.	56
Διάγραμμα 1.10	Σημαντικά ανόργανα συστατικά σωματιδίων και η προέλευση τους.	62
Διάγραμμα 1.11	Μεταβολή στις συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου στις χώρες της Ε.Ε. για τη περίοδο 1990-1999.	71
Διάγραμμα 1.12	Μείωση προδρόμων ουσιών του όζοντος στις χώρες της Ε.Ε. τη περίοδο 1990-2001.	75
Διάγραμμα 1.13	Θαλάσσια αύρα, συνοπτικοί άνεμοι και φυσιογραφικοί παράγοντες σχηματισμού υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων στη πόλη της Αθήνας.	80
Διάγραμμα 1.14	Αριθμός διανυομένων χιλιομέτρων ετησίως για διάφορες κατηγορίες οχημάτων.	84
Διάγραμμα 1.15	Διαχρονική εξέλιξη καυσίμων στο Νομό Αττικής.	86
Διάγραμμα 1.16	Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα, ανά σταθμό μέτρησης για την πόλη της Αθήνας.	89
Διάγραμμα 1.17	Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του διοξειδίου του θείου, ανά σταθμό μέτρησης για την πόλη της Αθήνας.	90
Διάγραμμα 1.18	Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του αζώτου, ανά σταθμό μέτρησης για την πόλη της Αθήνας.	90
Διάγραμμα 1.19	Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του διοξειδίου του αζώτου, ανά σταθμό μέτρησης για την πόλη της Αθήνας.	91
Διάγραμμα 1.20	Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του όζοντος, ανά σταθμό μέτρησης για την πόλη της Αθήνας.	91

Διάγραμμα 1.21	Αριθμός ημερών του 2001 όπου σημειώθηκε υπέρβαση των ορίων όζοντος ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $360\mu\text{g}/\text{m}^3$) ανά σταθμό μέτρησης.	93
Διάγραμμα 1.22	Αριθμός ημερών με υπέρβαση των ωριαίων τιμών όζοντος ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατώφλι ενημέρωσης κοινού) για το έτος 2002. Δεν υπήρξε υπέρβαση του ορίου των $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ που είναι το όριο συναγερμού του πληθυσμού.	94
Εικόνα 1.1	Το λεκανοπέδιο της Αττικής με την πόλη της Αθήνας και τα σημαντικότερα βουνά που τη περιβάλλουν και κάποιους από τους σημαντικότερους σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.	76
Κεφάλαιο 2.		
Διάγραμμα 2.1	Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.	105
Διάγραμμα 2.2	Απόθεση αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό.	113
Εικόνα 2.1	Μικροφωτογραφία προσκόλλησης και σταθεροποίησης συγκέντρωσης φορμόλης και παραφινικών ενώσεων στο πνευμονικό ιστό των κουνελιών, χρωματισμένη με αιματοξυλίνη-eosin. Ένας κυψελιδικός μακροφάγος που περιέχει αιωρούμενα σωματίδια ($< 10\mu\text{m}$) περίπου πάνω από το 5% της συνολικής κυτοπλασματικής του επιφάνειας.	107
Εικόνες 2.2	Μικροφωτογραφίες επικαθίσεων στον αρτηριακό ιστό των κουνελιών πολυμορφοπυρηνικών κυττάρων, αιμοπεταλίων όπως και μερικών ερεθισμένων κύτταρων.	108
Κεφάλαιο 3.		
Εικόνα 3.1	Σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.	145
Κεφάλαιο 4.		
Διάγραμμα 4.1	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα.	155
Διάγραμμα 4.2	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα.	156
Διάγραμμα 4.3	Μηνιαίοι μέσοι όροι 8ωρης μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα.	156
Διάγραμμα 4.4	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης όζοντος.	158
Διάγραμμα 4.5	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης όζοντος.	158
Διάγραμμα 4.6	Μηνιαίοι μέσοι όροι 8ωρης μέγιστης συγκέντρωσης όζοντος.	159
Διάγραμμα 4.7	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$).	160

Διάγραμμα 4.8	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$).	161
Διάγραμμα 4.9	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}).	161
Διάγραμμα 4.10	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}).	162
Διάγραμμα 4.11	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου (NO).	163
Διάγραμμα 4.12	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου (NO).	163
Διάγραμμα 4.13	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO_2).	165
Διάγραμμα 4.14	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO_2).	165
Διάγραμμα 4.15	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO_2).	167
Διάγραμμα 4.16	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO_2).	167
Διάγραμμα 4.17	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	168
Διάγραμμα 4.18	Μηνιαίοι μέσοι όροι ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	169
Διάγραμμα 4.19	Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	169
Διάγραμμα 4.20	Μηνιαίοι μέσοι όροι ποσοστών υγρασίας της ατμόσφαιρας %.	170
Διάγραμμα 4.21	Μηνιαίοι μέσοι όροι συνολικών εισαγωγών.	171
Διάγραμμα 4.22	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	177
Διάγραμμα 4.23	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	178
Διάγραμμα 4.24	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις 8ωρες μέγιστες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	179
Διάγραμμα 4.25	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	185
Διάγραμμα 4.26	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές	186

	παραμέτρους.	
Διάγραμμα 4.27	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες 8ωρες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	187
Διάγραμμα 4.28	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	193
Διάγραμμα 4.29	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	194
Διάγραμμα 4.30	Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.	195

ΜΕΡΟΣ 1^ο

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 Βασικές Έννοιες

1.1.1 Ρύπανση.

Ρύπανση είναι η άμεση ή έμμεση εκπομπή στο περιβάλλον ουσιών, θορύβου ή άλλης μορφής ενέργειας σε ποσότητες, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία του ανθρώπου, υλικές ζημιές, δυσμενή επίδραση σε ζώντες οργανισμούς ή σε οικοσυστήματα, γενικά δε να καταστήσει το περιβάλλον ακατάλληλο για τις κοινωφελείς χρήσεις για τις οποίες προορίζεται (Ορισμός του Π.Δ. 1180/8 Οκτώβριος 1981, άρθρο 1).

1.1.2 Αέριοι ρύποι.

Αέριος ρύπος είναι κάθε ουσία η οποία διοχετεύεται άμεσα ή έμμεσα από τον άνθρωπο στον αέρα του περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή / και στο περιβάλλον στο σύνολο του. Αέρας του περιβάλλοντος θεωρείται ο εξωτερικός αέρας της τροπόσφαιρας, εξαιρούμενου του αέρα στους χώρους εργασίας (Κ.Υ.Α. 3277/209/2000).

1.1.3 Ιστορικό ρύπανσης και δράσης για το περιβάλλον.

1.1.3.1 Προϊστορική περίοδος.

Ο άνθρωπος μαζί με τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς από τις πρώτες στιγμές της ύπαρξης τους στο πλανήτη ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Τα πρώτα στοιχεία ατμοσφαιρικής ρύπανσης προέρχονται από τις πρωτόγονες κοινωνίες της προϊστορικής περιόδου. Οι φυλές ζούσαν νομαδικά και ένας από τους λόγους που μετακινούνταν περιοδικά ήταν η αποφυγή δυσάρεστων οσμών που είτε παρήγαγαν οι ίδιοι μέσω των απορριμμάτων τους, είτε προέρχονταν από τα ζώα και τα φυτά. Όταν έμαθαν να ανάβουν φωτιές τις χρησιμοποιούσαν με λανθασμένο τρόπο για χιλιετίες, ρυπαίνοντας τον αέρα στο χώρο διαβίωσης τους με παράγωγα ατελούς καύσης. Διεργασίες εξόρυξης πολύτιμων λίθων, ψήσιμο πηλού για παρασκευή οικιακών συσκευών και τούβλων περιλαμβάνονται στις βασικότερες ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων, κατά τις τελευταίες περιόδους του πρωτόγονου ανθρώπου πριν από την οργάνωση του στις κοινωνίες της αρχαιότητας (Γεντεκάκης, 2003).

1.1.3.2 Αρχαιότητα – Μεσαίωνας.

Αναφορές για ανυπόφορες καταστάσεις σχετιζόμενες με ατμοσφαιρική ρύπανση εμφανίσθηκαν και σε πιο οργανωμένες κοινωνίες σε επόμενες περιόδους της ανθρώπινης ιστορίας, όπως κατά τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Ο Ρωμαίος φιλόσοφος Σενέκας περιγράφει με αποστροφή τη κατάσταση της Ρώμης που επιβάρυναν οι καπνοδόχοι της. Πολύ αργότερα, μέσα στον μεσαίωνα, υπάρχουν ενδείξεις δυσανασχέτησης πολιτών ή ακόμα και της άρχουσας τάξης για την ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχονταν από τη καύση του ξύλου και παρόμοιες καταστάσεις εμφανίσθηκαν γύρω στον 17^ο αιώνα από τη κατανάλωση κάρβουνου σε μεγαλουπόλεις της εποχής, όπως το Λονδίνο. Οι πρώτες βιομηχανίες, που συνδέθηκαν με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στους αιώνες που προηγήθηκαν από τη βιομηχανική επανάσταση, ήταν η μεταλλουργία, τα κεραμικά και η συντήρηση των ζωικών προϊόντων (Boudel *et al.*, 1994).

1.1.3.3 Βιομηχανική επανάσταση.

Η βιομηχανική επανάσταση στις αρχές του 18^{ου} αιώνα, ήρθε ως επακόλουθο της χρήσης ατμού για τη παραγωγή ενέργειας και τη κίνηση των μηχανών. Τα βασικότερα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη αυτής της διεργασίας ήταν ο άνθρακας στην αρχή και κάποιες ποσότητες πετρελαίου στη συνέχεια, με τα σημαντικότερα προβλήματα ρύπανσης να προέρχονται από την ιπτάμενη τέφρα και το καπνό που παράγονται κατά τη καύση τους. Πολλές από τις πιο ανεπτυγμένες βιομηχανικά πόλεις του κόσμου βρέθηκαν σε άσχημη θέση εξαιτίας των συνεπειών της απότομης ανάπτυξης τους. Οι πρώτοι εθνικοί νόμοι και κανόνες για τον περιορισμό των εκπομπών των δύο ρύπων εμφανίζονται κατά τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και επικεντρώνονται στις βιομηχανικές, κινητές και ναυτιλιακές πηγές ρύπανσης. Παράλληλα προς το τέλος αυτής της περιόδου έχουμε και σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα στον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με κυριότερα την κατασκευή κλιβάνων ελεγχόμενης ρύπανσης, συσκευών απομάκρυνσης οξέων από τις βιομηχανικές εκπομπές, κυκλώνες και φίλτρα συλλογής της σωματιδιακής ύλης, χρήση φυσικοχημικών μεθόδων στο σχεδιασμό των διεργασιών των λειτουργικών μονάδων κ.α. (Boudel *et al.*, 1994).

1.1.3.4 Ο 20^{ος} αιώνας.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα υπήρξαν μεγάλες αλλαγές τόσο στην τεχνολογία όσο και στην παραγωγή ρύπων. Σημαντική τεχνολογική αλλαγή ήταν η αντικατάσταση της ατμομηχανής από τον ηλεκτρικό κινητήρα, γεγονός που συνέβαλε στη μεταφορά ενός ποσοστού από τις εκπομπές, από τη τοπική κλίμακα της παραγωγής τους σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Στα τέλη των πρώτων δεκαετιών του 20^{ου} αιώνα τα βασικότερα καύσιμα που καταναλώνονταν ήταν ο άνθρακας σε θρυμματισμένη μορφή, το πετρέλαιο και κάποια αέρια καύσιμα με διαφορετικές μορφές καύσης και εκπομπή χαρακτηριστικών ρύπων στην ατμόσφαιρα το καθένα. Η πιο σημαντική όμως αλλαγή που σημάδεψε αυτή τη περίοδο ήταν η ραγδαία αύξηση στον αριθμό των αυτοκινήτων και των αντίστοιχων εκπομπών τους.

Τις επόμενες δεκαετίες μέχρι τα μισά του 20^{ου} αιώνα, τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίζονται είναι παρόμοια με αυτά που υπάρχουν

μέχρι και σήμερα. Τα πρώτα τραγικά επεισόδια με μαζικές ανθρώπινες απώλειες εξαιτίας υψηλών συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων έκαναν την εμφάνισή τους (κοιλάδα Meuse στο Βέλγιο, Donora στη Πενσυλβάνια, Poza Rica του Μεξικού). Παράλληλα το 1940 πρωτοεμφανίζεται στο Λος Άντζελες το φωτοχημικό νέφος, το οποίο μετέπειτα παρατηρείται σε πολλές μεγαλουπόλεις της Δύσης (μη εξαιρετέας της Αθήνας). Τεχνολογικό επίτευγμα της εποχής θεωρείται η επιτυχής μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω αγωγών και η έναρξη της χρήσης του ως καύσιμο μονάδων κεντρικών θερμάνσεων, αντικαθιστώντας δειλά-δειλά το πετρέλαιο και το κάρβουνο. Στις οδικές μεταφορές τα πετρελαιοκίνητα τρένα άρχισαν να αντικαθιστούν αυτά του ατμού, αλλά από την άλλη πλευρά όμως, τα ιδιωτικής χρήσεως οχήματα πολλαπλασιάζονταν συνεχώς ενώ τα λεωφορεία με μηχανές εσωτερικής καύσης αντικατέστησαν τα ηλεκτροκίνητα.

Το 1952 στο Λονδίνο είχαμε το μεγαλύτερο πλήγμα, μέχρι εκείνη τη περίοδο, ανθρωπίνων απωλειών εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (αιθαλομίχλη) με 4000 θανάτους, γεγονός που προκάλεσε την ψήφιση των πρώτων σοβαρών νόμων για την προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα των αστικών περιοχών. Επίκεντρο στη νέα νομοθέτηση ήταν οι μονάδες κεντρικών θερμάνσεων και τα καύσιμα που αυτές χρησιμοποιούσαν. Τη περίοδο αυτή σχεδόν όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες, καθώς και οι Η.Π.Α, η Ιαπωνία, η Αυστραλία και η Νέα Ζηλανδία ήρθαν αντιμέτωπες με σοβαρά προβλήματα ρύπανσης στις πρωτεύουσές τους, με αποτέλεσμα να πρωτοστατήσουν σε θέματα εθνικών νομοθεσιών για τον έλεγχο της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Παράλληλα μεγάλα ερευνητικά κέντρα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ιδρύονται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, στην Ιαπωνία και στις Η.Π.Α..

Το 1955 στις Η.Π.Α. έγινε το Διεθνές Συνέδριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ενώ το 1964 ιδρύθηκε η διεθνής οργάνωση για τη πρόληψη της (IUAPPA : the International Union of Air Pollution Prevention Associations), η οποία συγκάλεσε τη Διεθνή Συνδιάσκεψη Καθαρής Ατμόσφαιρας. Αυτή πραγματοποιήθηκε σε πολλές πόλεις διαδοχικά: στο Λονδίνο το 1966, στην Ουάσιγκτον το 1970, στο Ντίσελντορφ το 1973, στο Τόκιο το 1977, στο Μπουένος Άιρες το 1980, στο Παρίσι το 1983, στο Σίδνεϋ το 1986, στη Χάγη το 1989 και στο Μόντρεαλ το 1992. Το τεχνολογικό ενδιαφέρον αυτής της περιόδου επικεντρώθηκε στην ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα και τον έλεγχο της, στην ρύπανση από τα οξείδια του θείου και την απομάκρυνσή τους, στον έλεγχο των αερίων που εκλύονται από σταθερές πηγές, στην αποθείωση των καυσίμων καθώς και στον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από διεργασίες καύσης. Η προσπάθεια πρόβλεψης για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την αλληλεπίδρασή της με τα καιρικά φαινόμενα ήρθε μεταγενέστερα.

Το 1980 αναπτύχθηκαν και άρχισαν να εξελίσσονται μαθηματικά μοντέλα για τη πρόβλεψη, την εξέλιξη της ρύπανσης και των αλληλοεπιδράσεων της με καιρικά φαινόμενα, όπως και δόθηκαν οι βάσεις για τον προσδιορισμό της φωτοχημικής ρύπανσης. Άρχισαν να λειτουργούν σε όλον το κόσμο συστήματα για τη παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και έγινε διαθέσιμη μια μεγάλη ποικιλία οργάνων μέτρησης των ρύπων. Το πιο αξιοσημείωτο των τελευταίων δεκαετιών του 20^{ου} αιώνα είναι η κατανόηση της ανάγκης για ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης και ουσιαστικής προσέγγισης του προβλήματος. Άρχισαν να αναπτύσσονται μονάδες και συσκευές ελέγχου της ρύπανσης κατ' ευθείαν στις πηγές

της και αρχίζει να κερδίζει έδαφος η φιλοσοφία της πρόληψης της αντί για την προσπάθεια αποκατάστασης της μετά τη δημιουργία της (Γεντεκάκης, 2003).

1.1.3.5 Ευαισθητοποίηση και δράσεις για το περιβάλλον την εποχή μας

Η έντονη ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον σε διεθνές πολιτικό επίπεδο ξεκίνησε το 1972, όταν ο Ο.Η.Ε. διοργάνωσε στη Στοκχόλμη τη «Διάσκεψη για το Ανθρώπινο Περιβάλλον» σε μια προσπάθεια διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος και της προστασίας της ανθρώπινης υγείας. Η πρώτη επίσημη αναφορά στη Βιώσιμη Ανάπτυξη του πλανήτη έγινε τον Απρίλη του 1987 από την Διεθνή Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του Ο.Η.Ε. Στο Ρίο της Βραζιλίας, το 1992, στην «Παγκόσμια Διάσκεψη για τη Γη» θέματα πρακτικής εφαρμογής της Βιώσιμης Ανάπτυξης εισήλθαν στην Ατζέντα των παγκόσμιων πολιτικών συζητήσεων (Agenda 21). Το 2002 στο Γιοχάνεσμπουργκ στη «Παγκόσμια Διάσκεψη για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη» έγινε αποτίμηση των αποτελεσμάτων των συμφωνιών του Ρίο και δέσμευση για έναρξη εθνικών στρατηγικών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Αμπελιώτης, 2002).

Παράλληλα στην Ευρώπη μετά την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας (Ε.Ο.Κ., 1957), για πρώτη φορά το 1967 είχαμε τη πρώτη οδηγία για τη διαχείριση επικίνδυνων ουσιών και το 1971 από την Επιτροπή της Κοινότητας είχαμε την πρώτη ανακοίνωση προς το Συμβούλιο για περιβαλλοντική πολιτική, η οποία υποστήριζε την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσω κοινοτικών δράσεων ή μέσω διακυβερνητικών συμφωνιών. Ακολούθησαν στη Ευρωπαϊκή Νομοθεσία αναφορές για το περιβάλλον σε διάφορες Συνθήκες της Κοινότητας ή σε πολιτικές διακηρύξεις όπως τα Προγράμματα Δράσεως για το περιβάλλον, τα οποία υιοθετούνται μέσω κανονισμών, οδηγιών, αποφάσεων, εισηγήσεων, γνωμών κ.α. (βλέπε κεφ. 2.4.23.2). Σήμερα έχει εγκριθεί και είναι σε ισχύ το 6^ο Πρόγραμμα Δράσεως για το περιβάλλον το οποίο περιλαμβάνει τις προτεραιότητες και τους αντικειμενικούς στόχους της περιβαλλοντικής πολιτικής μέχρι το έτος 2010, καθώς και αναλυτική απαρίθμηση των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για να συμβάλλουν στην υλοποίηση της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης στα θέματα της Βιώσιμης Ανάπτυξης όπως η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Ε.Ε., 2005α).

Στις ημέρες μας, μία από τις σημαντικότερες δραστηριότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και γενικότερα των περιβαλλοντικών προβλημάτων, θεωρείται η στρατηγική υπέρ της Αειφόρου Ανάπτυξης, η οποία παρουσιάστηκε στη σύνοδο κορυφής του Γκέτεμποργκ τον Ιούνιο του 2001 και αποτελεί ουσιαστικά τμήμα των προπαρασκευαστικών εργασιών για την Παγκόσμια Συνδιάσκεψη του Γιοχάνεσμπουργκ (2002). Αναγνωρίζει τις κυριότερες απειλές της υγείας και της ποιότητας ζωής των κατοίκων της Ε.Ε., τοποθετώντας ανάμεσα τους και την κυκλοφοριακή συμφόρηση των Ευρωπαϊκών δρόμων, τη χρήση γης, την χωροταξική ανάπτυξη και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους και προτρέπει την έκδοση μιας σειράς οδηγιών για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα (Ε.Ε., 2005β).

1.2 Ατμόσφαιρα

1.2.1 Δομή ατμόσφαιρας.

Ατμόσφαιρα θεωρούμε το μίγμα των αερίων που περικλείει τη γη με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος. Η σύσταση και η πυκνότητα του μίγματος των αερίων μεταβάλλεται με το ύψος από την επιφάνεια της γης (Διάγραμμα 1). Το ίδιο παρατηρείται και για τη θερμοκρασία, όπου με βάση τη μεταβολή της, η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε διαφορετικά στρώματα: την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα, τη μεσόσφαιρα και τη θερμόσφαιρα.

Η τροπόσφαιρα είναι το στρώμα πάνω από την επιφάνεια της γης που έχει ύψος 12-14 km ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Χαρακτηρίζεται από την ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος και από το ότι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία φτάνει έως την επιφάνεια της γης και απορροφάται από αυτήν, θερμαίνει έμμεσα τη τροπόσφαιρα. Ο θερμός αέρας ανέρχεται και επειδή η πίεση ελαττώνεται με το ύψος, εκτονώνεται αδιαβατικά και κατά αυτόν τον τρόπο η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται κατά ποσό θερμότητας που αντιστοιχεί στο έργο που παράγεται.

Η στρατόσφαιρα αρχίζει από την τροπόπαυση και φτάνει μέχρι τα 50 km. Στα πρώτα χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση έχουμε σταθεροποίηση της θερμοκρασιακής μεταβολής ενώ στη συνέχεια, μέχρι τη στρατόπαυση, αυτή αυξάνεται. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος η περιοχή αυτή θεωρείται πιο σταθερή από την τροπόπαυση και η ανάμιξη των αερίων πολύ αργή. Η αύξηση της θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα οφείλεται στο στρώμα του όζοντος, το οποίο απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία.

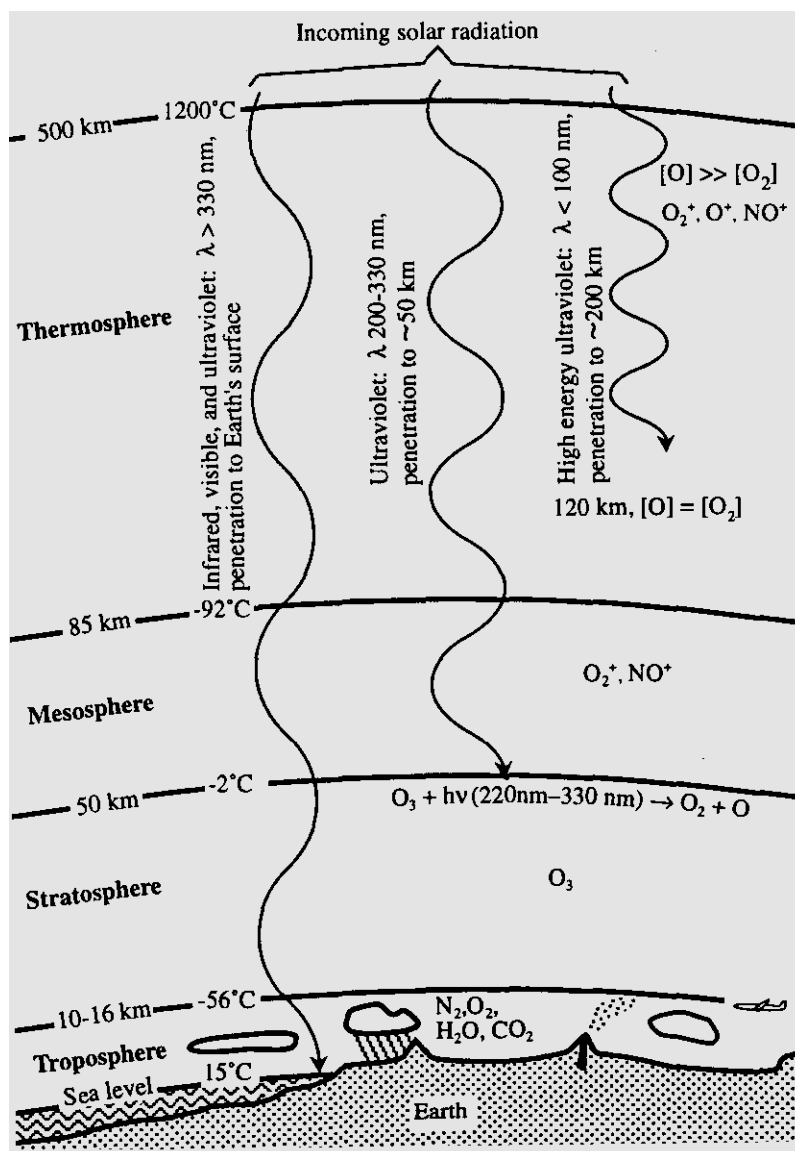
Μετά τη στρατόπαυση παρατηρείται απότομη πτώση της θερμοκρασίας, η οποία συνεχίζεται σε όλη τη μεσόσφαιρα μέχρι και τα 85 km, όπου συναντάμε τη μεσόπαυση. Αυτή είναι και η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας. Η πτώση της θερμοκρασίας στη μεσόσφαιρα οφείλεται στη κατακόρυφη μεταφορά αερίων μαζών, όπως και στην τροπόσφαιρα, και στη μικρή συγκέντρωση συστατικών που απορροφούν την ακτινοβολούμενη ενέργεια.

Πάνω από τη μεσόπαυση εκτείνεται η θερμόσφαιρα, στην οποία η θερμοκρασία αρχίζει πάλι να αυξάνεται μέχρι τα 400 km, στην θερμόπαυση, όπου επικρατούν θερμοκρασίες 1000 °C ή και μεγαλύτερες ανάλογα με την ηλιακή δραστηριότητα. Η περιοχή πάνω από τη θερμόπαυση είναι ισόθερμη και ονομάζεται εξώσφαιρα. Εδώ τα συστατικά της ατμόσφαιρας αποκτούν μερικές φορές σημαντική κινητική ενέργεια με αποτέλεσμα να υπερνικούν το πεδίο βαρύτητας και να φεύγουν στο διάστημα (Κουιμτζή, 1997).

Η ατμόσφαιρα θεωρείται ως ένας προστατευτικός μανδύας της γης. Απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό της κοσμικής και της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας όπως και απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία που αντανακλάται από το έδαφος.

Η σύσταση της ατμόσφαιρας μέχρι το ύψος των 100 km από το έδαφος είναι σταθερή, με μέσο μοριακό βάρος αέρα σταθερό και ίσο με 28,28. Αυτό οφείλεται στις διεργασίες της τυρβώδους ανάμιξης των συστατικών της σε σχέση με τις αντίστοιχες της μοριακής διάχυσης. Το στρώμα αυτό ονομάζεται ομοιόσφαιρα, ενώ σε

μεγαλύτερα ύψη από τα 100 km, στην ετερόσφαιρα όπου κυριαρχεί η μοριακή διάχυση, η σύσταση της ατμόσφαιρας παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο διάγραμμα 1.1 απεικονίζεται η δομή της ατμόσφαιρας και η μεταβολή της θερμοκρασίας ανάλογα με το ύψος (Mahanan, 2000).



Διάγραμμα 1.1 : Δομή της ατμόσφαιρας – Είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας (Πηγή: Manahan, 2000).

1.2.2 Χημεία ατμόσφαιρας.

1.2.2.1 Σύσταση της καθαρής ατμόσφαιρας.

Η σύνθεση του καθαρού αέρα στη τροπόσφαιρα είναι μια ιδεατή κατάσταση, που ίσως να μην τη συναντήσουμε ποτέ, γιατί από τη στιγμή της παρουσίας του ανθρώπου στο πλανήτη, έπαψε να υφίσταται. Ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές της θάλασσας, των Πόλων, των ερήμων ή και των βουνών, ο αέρας θα πρέπει να θεωρείται ως αραιωμένος ρυπασμένος που ίσως να πλησιάζει τον απολύτως καθαρό, αλλά σίγουρα παρουσιάζει υπολείμματα διασκορπισμένης και παλαιωμένης ανθρωπογενούς ρύπανσης.

Ο πίνακας 1.1 δίνει τη σύσταση του καθαρού αέρα σε ξηρή και υγρή βάση και σε μονάδες, μέρη ανά εκατομμύριο όγκου (ppm) και μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η αξιοσημείωτη διαφορά ανάμεσα σε υγρό και ξηρό καθαρό αέρα εντοπίζεται κυρίως στην περιεκτικότητα του σε υδρατμούς (Boubel *et al.*, 1994).

Η αληθινή ατμόσφαιρα δεν είναι απλά ένα ξηρό μίγμα μόνιμων αερίων αλλά περιέχει και άλλες ουσίες σε περιορισμένη όμως έκταση, όπως ατμούς νερού και οργανικών ουσιών καθώς και σωματιδιακή ύλη. Τα μόρια των ατμών πάνω από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης τους συμπεριφέρονται ως μόνιμα μόρια αερίων στην ατμόσφαιρα. Κάτω από αυτήν και αν ο αέρας είναι κορεσμένος, το νερό μεταβάλλεται από ατμό σε υγρό. Η ποσότητα του υδρατμού στην ατμόσφαιρα ποικίλει από τη σχεδόν απόλυτη ξηρότητα στην απόλυτη υγρασία, μεταξύ 0% και 4% κατά βάρος (Γεντεκάκης, 2003).

Εάν όλοι οι υδρατμοί που περιέχονται στην ατμόσφαιρα έπεφταν με έναν κατακλυσμό, το πάχος της στοιβάδας του νερού δεν θα ήταν μεγαλύτερο από 2,5 εκατοστά. Εν τούτοις οι υδρατμοί είναι ένα από τα πιο κρίσιμα συστατικά του αέρος, όπου οι κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις του αποτελούν σημαντικότετους μηχανισμούς και συνεισφέρουν στη διατήρηση της ισορροπίας της κατάλληλης θερμοκρασίας για την ύπαρξη ζωής στη γη. Για αέρια όπως το άζωτο, το οξυγόνο, το αργό, το διοξείδιο του άνθρακα, το νέο και το ήλιο η σύσταση της ατμόσφαιρας είναι σχετικώς σταθερή σε όλη την επιφάνεια της γης. Το μεθάνιο, η αμμωνία, το υδρόθειο, το μονοξείδιο του άνθρακα και το οξείδιο του αζώτου υπάρχουν σε όλα τα σημεία της ατμόσφαιρας της γης αλλά σε πολύ μεταβαλλόμενη αναλογία. Τα σωματίδια, οι πηγές των οποίων προϋπήρχαν της εμφάνισης του ανθρώπου στη γη, αποτελούν τους πυρήνες γύρω από τους οποίους τα μόρια του νερού συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν μικρές σταγόνες νερού. Αυτές δημιουργούν τα σύννεφα και τη βροχή. Τα προβλήματα αρχίζουν μόνο όταν μεγάλες συγκεντρώσεις ξένων σωματιδίων εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από διάφορες φυσικές οι ανθρωπογενείς πηγές και διαταράσσουν τη κανονική λειτουργία της (Κουιτζή, 1997).

Πίνακας 1.1 : Σύσταση καθαρής ατμόσφαιρας - Διαφορές ξηρού και υγρού αέρα
(Πηγή: Κουιμτζή, 1997)

	Ξηρός αέρας		Υγρός αέρας	
	ppm (vol)	μg/m ³	ppm (vol)	μg/m ³
Αζωτο (N₂)	780,000	8,95 10 ⁸	756,500	8,95 10 ⁸
Οξυγόνο (O₂)	209,400	2,74 10 ⁸	202,900	2,74 10 ⁸
Νερό (H₂O)	-	-	31,200	2,30 10 ⁷
Αργό (Ar)	9,300	1,52 10 ⁷	9,000	1,47 10 ⁷
CO₂	315	5,67 10 ⁵	305	5,49 10 ⁵
Νέο (Ne)	18	1,49 10 ⁴	17,4	1,44 10 ⁴
Ήλιο (He)	5,2	8,50 10 ²	5,0	8,25 10 ²
Μεθάνιο (CH₄)	1,0-1,2	6,56-7,87 10 ²	0,97-1,16	6,35-7,6 10 ²
Κρύπτο (Kr)	1,0	3,43 10 ³	0,97	3,32 10 ³
N₂O	0,5	9,00 10 ²	0,49	8,73 10 ²
Υδρογόνο (H₂)	0,5	4,13	0,49	4,00
Ξένο (Xe)	0,08	4,29 10 ²	0,08	4,17 10 ²
Οργανικοί	0,02	-	0,02	-

1.2.2.2 Παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα - Κατηγορίες ρύπων.

Η σημερινή ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές, μέσω των πολυάριθμων πηγών εκπομπής διαφόρων ουσιών όπως και των πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε αυτήν, χαρακτηρίζεται από τη παρουσία ρύπων, σε αντίθεση με την ιδεατή κατάσταση της καθαρής ατμόσφαιρας. Ένα σημαντικό ποσοστό των υλικών που εκπέμπονται σε σημαντικές ποσότητες από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από απλά μόρια ανόργανων χημικών ενώσεων μέχρι και πολύπλοκα μόρια οργανικών ενώσεων. Η κατάταξη των ρυπαντών του αέρα γίνεται με βάση την προέλευση τους, τη χημική τους σύσταση και τη κατάσταση της ύλης τους (Boudel *et al.*, 1994).

Ανάλογα με τη προέλευση τους οι ρυπαντές θεωρούνται είτε ως πρωτογενείς είτε ως δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς ρυπαντές, οι οποίοι είναι και οι περισσότεροι στην σύσταση της ατμόσφαιρας, είναι εκείνοι που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα και βρίσκονται εκεί με τη μορφή με την οποία έγινε η εκπομπή τους. Χαρακτηριστικοί πρωτογενείς ρύποι στην ατμόσφαιρα των αστικών περιοχών εξαιτίας των εκπομπών από πολυάριθμες πηγές είναι τα πολύ σύνθετα μείγματα υδρογονανθράκων (HC), τα οξείδια του θείου (SO_x) και του αζώτου (NO_x). Το φαινόμενο της ρύπανσης δεν είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά και μόνο των πρωτογενών ρύπων. Μέσα από μια σειρά πολύπλοκων ατμοσφαιρικών χημικών αντιδράσεων έχουμε την παραγωγή νέων οντοτήτων, των δευτερογενών ενώσεων, οι οποίες είναι ουσιαστικά αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων ανάμεσα στις πρωτογενείς ενώσεις μεταξύ τους ή με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικοί δευτερογενείς ρυπαντές είναι το όζον (O₃), το νιτρικό οξύ (HNO₃), το θειικό οξύ (H₂SO₄) και οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες όπως το νιτρικό

υπεροξειδίο (PAN), οι οποίοι προέρχονται από φωτοχημικές αντιδράσεις, από υδρόλυση ή από οξείδωση (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Οι ρύποι ανεξάρτητα της κατηγοριοποίησης με βάση την προέλευση τους, κατατάσσονται και σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση σε οργανικές και ανόργανες ενώσεις. Στις οργανικές ενώσεις, εκτός από τους υδρογονάνθρακες, ανήκουν και αυτές που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο μαζί με μια σειρά άλλων στοιχείων όπως οξυγόνο (O_2), άζωτο (N_2), φώσφορο (P) και θείο (S), όπως οι οργανικές θειούχες ενώσεις, οι αλκοόλες, τα καρβολικά οξέα, οι αιθέρες, οι εστέρες, οι αμίνες κ.α. Οι σημαντικότερες κατηγορίες ατμοσφαιρικών υδρογονανθράκων είναι τα αλκάνια, τα αλκένια, οι αρωματικοί και οι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες. Οι πρώτες τρεις κατηγορίες βρίσκονται ελεύθερες στην ατμόσφαιρα, ενώ η τέταρτη σχηματίζεται σε αυτήν και αποτελεί δευτερογενές προϊόν. Ανόργανα υλικά της ατμόσφαιρας που θεωρούνται ρυπαντές της ατμόσφαιρας είναι το μονοξειδίο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), διάφορα ανθρακικά παράγωγα, τα οξείδια του θείου και του αζώτου, το όζον, το υδροφθόριο (HF) και το υδροχλώριο (HCL), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το νιτρώδες οξείδιο (N_2O), το πεντοξείδιο του αζώτου (N_2O_5), το ελεύθερο χλώριο (Cl_2), η αμμωνία (NH_3) (Manahan, 2000).

Σύμφωνα με τη κατάσταση της ύλης του κάθε ρύπου έχουμε τους αέριους ρύπους και τα σωματίδια. Οι αέριοι ρύποι, αμορφοποίητα ρευστά που καταλαμβάνουν πλήρως το χώρο που τους διατίθεται, συμπεριφέρονται όμοια προς τον αέρα και δεν κατακάθονται σχεδόν ποτέ σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης της ατμόσφαιρας. Από την άλλη, ως σωματίδια νοούνται υλικά διεσπαρμένα στον αέρα, στερεά ή υγρά με συγκεκριμένα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά το καθένα, όπως και διακυμάνσεις του μεγέθους τους, με βάση τα οποία κατατάσσονται και σε διαφορετικές κατηγορίες (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Αξίζει να αναφερθούν στη κατάταξη των ρύπων της ατμόσφαιρας σε κατηγορίες και οι ελεύθερες ρίζες, οι οποίες δεν είναι αμιγώς ατμοσφαιρικοί ρύποι, αλλά φυσικά θραύσματα σταθερών μορίων διαμορφωμένα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι όμως πολύ δραστικές και καθοριστικές για τη χημική ισορροπία βασικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τη σημαντική συμβολή τους στη δημιουργία δευτερογενών ρύπων. Μερικές από τις σημαντικότερες ελεύθερες ρίζες της ατμόσφαιρας είναι το ατομικό οξυγόνο ($O\cdot$), το ατομικό υδρογόνο ($H\cdot$), η ρίζα υδροξειδίου ($OH\cdot$), η ρίζα υπεροξειδίου ($HO_2\cdot$), υπεροξειδίου του υδρογόνου ($H_2O_2\cdot$) (Tang et al., 1998).

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται μερικές ενώσεις-ρύποι ταξινομημένοι με βάση τη χημική τους σύνθεση.

Πίνακας 1.2 : Χημικές ενώσεις – Βασικοί ρύποι της ατμόσφαιρας (Πηγή: Γεντεκάκης, 2003).

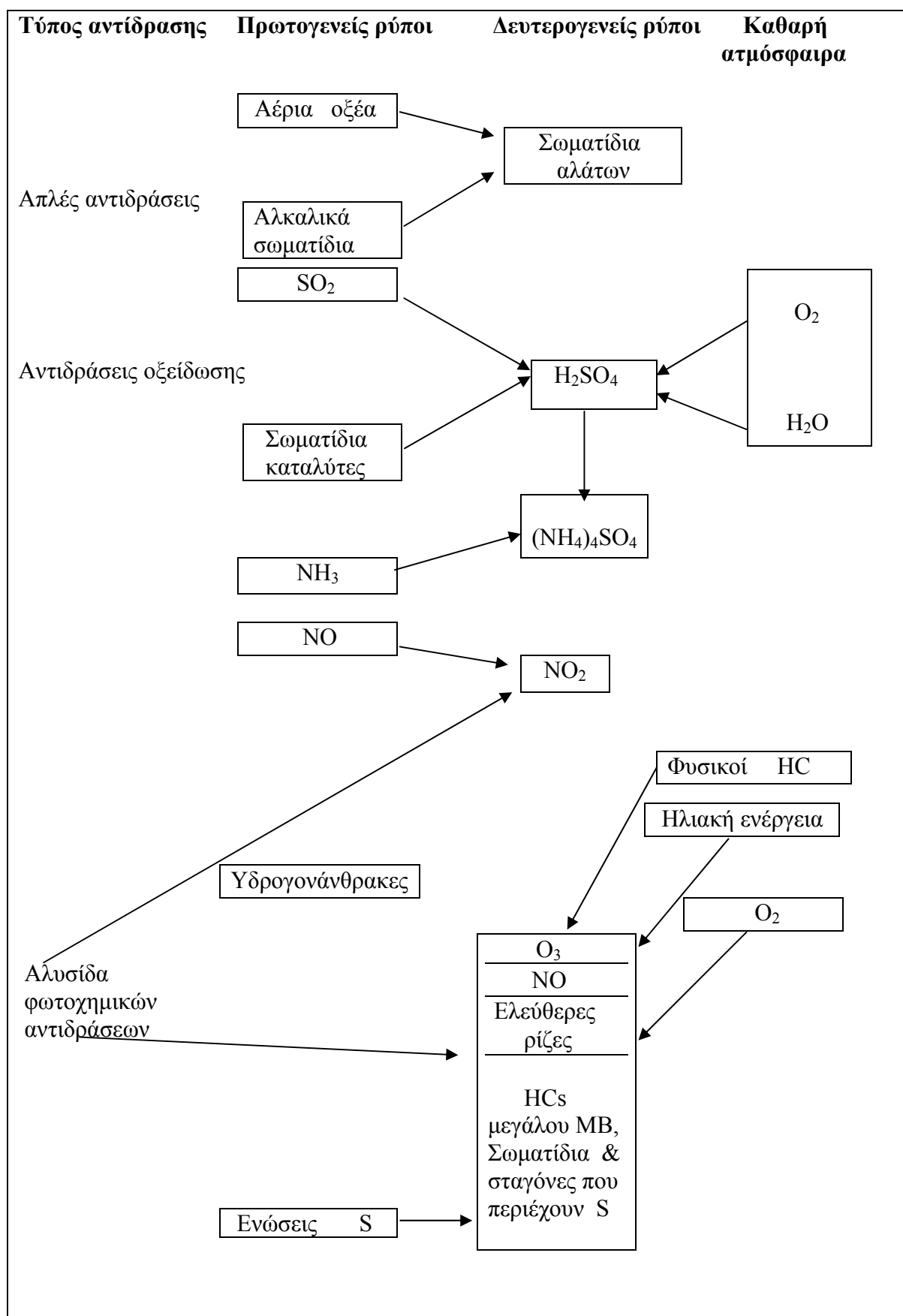
Κατηγορία	Υποκατηγορία	Ένωση - ρύπος
ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ Υδρογονάνθρακες	Αλκένια	C ₂ H ₄ C ₃ H ₆ Trans - 2-C ₄ H ₈
	Αλκάνια	CH ₄ C ₂ H ₆
	Αλκύνια	C ₂ H ₂
	Αρωματικοί	C ₆ H ₆ m-ξυλένιο (C ₆ H ₁₀)
Οξυγονωμένοι HCs	Αλδεΐδες	Φορμαλδεΐδη (HCHO) Ακεταλδεΐδη (CH ₃ CHO) Άλλες αλδεΐδες (RCHO)
	Αλκοόλες	Μεθανόλη (CH ₃ OH)
	Οργανικά οξέα	Φορμικό οξύ (HCOOH) Οξικό οξύ (CH ₃ COOH)
ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ Ενώσεις Αζώτου	Οξειδία	NO NO ₂ NO ₃ N ₂ O ₅
	Οξέα	HNO ₂ HNO ₃
	Άλατα	NH ₄ NO ₃
Ενώσεις Θείου	Οξειδία	SO ₂ SO ₃
	Οξέα	H ₂ SO ₄
	Άλατα	(NH ₄) ₂ SO ₄
Ελεύθερες ρίζες		Ατομικό υδρογόνο (H·) Υδροξύλιο (OH·) Υδροϋπεροξειδίο (HO ₂ ·) Ακύλιο (RCO·) Υπεροξυακύλιο (RCOO ₂ ·)
ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ		PAN (CH ₃ COO ₂ NO ₂ ·) Όζον (O ₃ ·)

Οι αέριοι ρύποι εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα σε διαφορετικές μορφές και ανάλογα με τη κατάσταση της ύλης τους συναντάμε τις εξής :

- Αέρια (gases). Ουσίες οι οποίες σε φυσική κατάσταση διαχέονται και καταλαμβάνουν τον χώρο μέσα στον οποίο περικλείονται. Σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως δεν εμφανίζονται σε στερεή ή υγρή κατάσταση.
- Ατμοί (vapors). Αέριος μορφή μιας ουσίας που σε συνήθεις συνθήκες είναι σε υγρή κατάσταση.
- Κόνεις (dust). Στερεά σωματίδια μικρού μεγέθους που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα κατακερματισμού στερεών σωμάτων.
- Καπνός (smoke). Λεπτότατα σωματίδια, με τη μορφή αερολυμάτων, που σχηματίζονται κατά την ατελή καύση.
- Κάπνα (fume). Στερεά σωματίδια που σχηματίζονται μετά από συμπύκνωση ουσιών που βρέθηκαν λόγω ειδικών συνθηκών στην αέρια φάση.
- Αερολύματα (aerosol – particulate). Στερεά ή υγρά σωματίδια, μικροσκοπικού μεγέθους, που βρίσκονται σε διασπορά στην αέρια φάση όπως καπνός, ομίχλη, άχλης.
- Ιπταμένη τέφρα (fly ash). Λεπτόκοκκα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται από τα καυσαέρια.
- Ομίχλη (fog). Είναι μια μορφή αεροζόλ όπου τα υγρά σωματίδια σε διασπορά είναι ορατά.
- Άχλης (mist). Σταγονίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα, τα οποία σχηματίζονται από μηχανικές δράσεις ή από συμπύκνωση αερίων

(Κουιμτζή, 1997).

Στο διάγραμμα 1.2 απεικονίζονται οι βασικότερες από τις κατηγορίες ρύπων βάσει της προέλευσης τους στην ατμόσφαιρα, όπως και οι σημαντικότεροι χημικοί τους μετασχηματισμοί.



Διάγραμμα 1.2 : Κατηγορίες ρύπων βάσει προέλευσης-Χημικές αντιδράσεις (Πηγή: Γεντεκάκης, 2003).

1.2.2.3. Χημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας.

Στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν διάφορες χημικές αντιδράσεις τόσο μεταξύ των ρύπων όσο και μεταξύ αυτών με μόρια που απαρτίζουν τη καθαρή ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα θεωρείται ένας τεράστιος αντιδραστήρας μέσα στον οποίο λαμβάνουν χώρα διάφορες χημικές μεταβολές στα μόρια των ενώσεων, δια μέσου φωτοχημικών, οξειδωτικών αλλά και απλών χημικών αντιδράσεων. Οι ατμοσφαιρικές χημικές αντιδράσεις ταξινομούνται σε φωτοχημικές και θερμικές. Στις φωτοχημικές αντιδράσεις έχουμε αλληλεπίδραση φωτονίων με είδη που καταλήγουν στο σχηματισμό νέων προϊόντων, τα οποία μπορούν να συμμετέχουν σε περαιτέρω χημικές αντιδράσεις. Η διεργασία της φωτοδιάσπασης εξαρτάται κυρίως από την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, όπου μόνο φωτόνια ενεργειακά πολύ φορτισμένα είναι ικανά να την προκαλέσουν. Η ικανότητα αντίδρασης των χημικών ενώσεων διαφέρει εξαιτίας της δομής τους και του μοριακού τους βάρους. Θερμικές αντιδράσεις είναι όλες οι απλές αντιδράσεις και οι αντιδράσεις οξειδωσης όπου δεν είναι απαραίτητη η συμμετοχή φωτός κατά την εκτέλεση τους (Manahan, 2000).

Η ηλιακή ακτινοβολία η οποία φτάνει στη γη είναι μόνο το ένα δισεκατομμυριοστό από την εκλυόμενη ενέργεια του ήλιου. Ένα μεγάλο μέρος αυτής ανακλάται από την ατμόσφαιρα, όπως μπορούμε και να διακρίνουμε στο διάγραμμα 1, με αποτέλεσμα το σημαντικότερο τμήμα της υψηλής ποιοτικά ενέργειας, όπως ακτίνες γκάμα, ακτίνες X, και υπεριώδης ιονίζουσα ακτινοβολία να μην φτάνει ποτέ στην επιφάνεια της γης. Στη τροπόσφαιρα τελικώς φτάνει η ακτινοβολία του ορατού φωτός, η υπέρυθρη και μια μικρή ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας (Παυλόπουλος, 2001).

Τα διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας βρίσκονται πάντοτε κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, από την οποία ένα μεγάλο ποσοστό της, το απορροφάνε. Η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει τις χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρώντας με μόρια που δρουν ως αποδέκτες. Η εσωτερική ενέργεια των μορίων εξαρτάται από την ενέργεια των ηλεκτρονικών στοιβάδων. Τα μόρια αλληλεπιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία απορροφώντας φωτόνια. Αυτή η διαδικασία της απορρόφησης αναγκάζει το μόριο να μεταπηδήσει από την κατώτερη ηλεκτρονική στάθμη σε μια ανώτερη διεγερμένη στάθμη. Η αλλαγή στην ενέργεια (E) μεταξύ των δύο καταστάσεων αντιστοιχεί σε ένα κβάντα ή φωτόνιο ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία προσδιορίζεται από τη σχέση $E = h\nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του φωτός, αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Μόρια και άτομα αλληλεπιδρούν με φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από ορισμένες συνθήκες για να απορροφήσουν φωτόνια μιας ποικιλίας μήκων κύματος. Όταν το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται ανάμεσα στα 240 nm και 260 nm τότε το επόμενο βήμα, μετά τη μεταπήδηση σε μια διεγερμένη κατάσταση, για το μόριο είναι να διασταθεί σε ελεύθερες ρίζες (φωτοδιάσπαση). Φωτόνια μικρότερου μήκους κύματος και μεγαλύτερης ενέργειας απορροφώνται σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (Κουιμτζή, 1997).

Η τάση ατμών μιας ένωσης είναι σημαντική για το καθορισμό της μέγιστης δυνατής συγκέντρωσης της στην ατμόσφαιρα. Υψηλές τάσεις ατμών επιτρέπουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις της ένωσης από αντίστοιχες χαμηλές. Η τάση ατμών μιας ένωσης

είναι αυτή που επηρεάζει το βαθμό εξάτμισης των οργανικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, καθώς και τη μετατροπή των ατμοσφαιρικών αερίων σε σωματιδιακά υλικά.

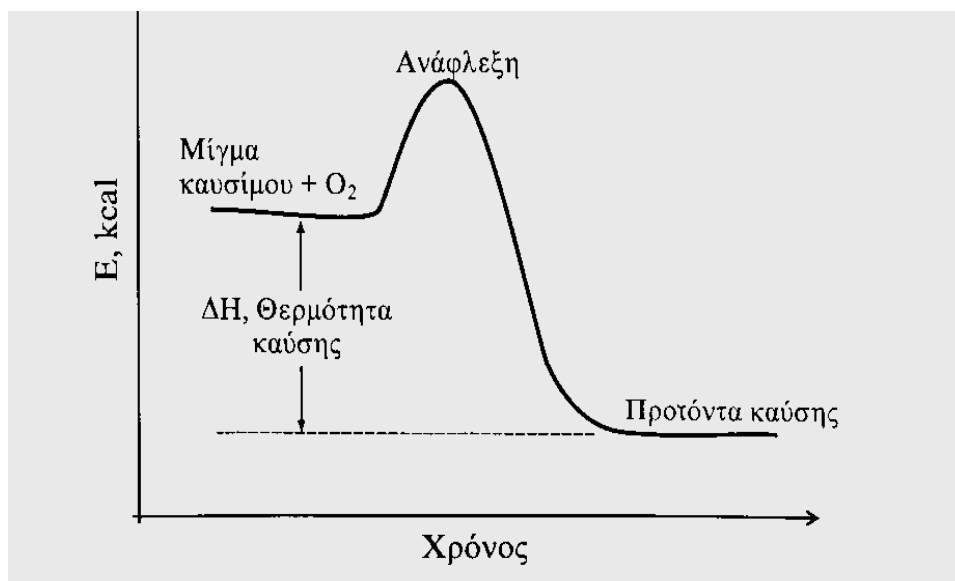
Οι ατμοσφαιρικοί χημικοί μετασχηματισμοί ταξινομούνται σε ομογενείς και ετερογενείς αναλόγως αν συμβαίνουν στην αέρια φάση, στην επιφάνεια του ή στο εσωτερικό του αντίστοιχα. Έτσι έχουμε μετασχηματισμούς στην αέρια φάση, στην υγρή φάση σε σταγονίδια ή φιλμ νερού και σε σωματίδια ύλης. Οι ετερογενείς μετασχηματισμοί ουσιαστικά περιλαμβάνουν το σύνολο των χημικών διεργασιών των υγρών και των στερεών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Αυτά είναι τα αιωρούμενα σωματίδια ή τα σταγονίδια που είναι διαχωρισμένα από τα διαλυμένα κρυσταλλικά σταγονίδια που περιλαμβάνονται στα σύννεφα και το μέγεθος τους καταλαμβάνει κάτι λιγότερο από 10^{-6} κυβικά εκατοστά (cm^3) ανά κυβικό εκατοστό αέρα. (Jacob, 2000).

Σημαντικές φωτοχημικές και οξειδωτικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στη τροπόσφαιρα με αποτέλεσμα να επηρεάζουν σημαντικά την σύσταση της. Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται η οξείδωση πρωτογενών προϊόντων της ατμόσφαιρας όπως των υδρογονανθράκων, του μονοξειδίου του αζώτου (NO), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2), του διοξειδίου του θείου (SO_2) όπως και άλλων πρωτογενών προϊόντων με αποτέλεσμα το σχηματισμό προϊόντων οξείδωσης, όπως ελεύθερες ρίζες, αλδεΐδες, το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), νιτρικό οξύ (HNO_3) και θειικό οξύ (H_2SO_4) αντίστοιχα αλλά και ιδιαίτερα οξειδωτικών προϊόντων όπως όζον (O_3) και οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες όπως το νιτρικό υπεροξείδιο (PAN), τα οποία αποτελούν και τα δευτερογενή προϊόντα χημικών αντιδράσεων (Γεντεκάκης, 2003).

1.2.2.3.1 Καύση.

Καύση ορίζουμε τη ταχεία ένωση μιας ουσίας με οξυγόνο που συνοδεύεται από έκλυση ακτινοβολίας και θερμότητας. Είναι μια πολύπλοκη χημική διεργασία και γενικά θεωρείται μια αλυσιδωτή αντίδραση ελευθέρων ριζών της ατμόσφαιρας. (Warnatz, 1984).

Για να εκκινήσει μια αντίδραση καύσης θα πρέπει να υπάρχει αρκετά υψηλή θερμοκρασία ανάφλεξης (παρόλο που είναι μια εξώθερμη αντίδραση), καύσιμο και οξυγόνο. Η καλή ανάμιξη των δύο τελευταίων παραγόντων είναι απαραίτητη για να μην επιβραδυνθεί η διαδικασία καύσης από πιθανή εμφάνιση φαινομένων αντίστασης στην μεταφορά μάζας. Στο διάγραμμα 1.3 αναφέρονται τα βασικότερα ενεργειακά επίπεδα που σχετίζονται με τις αντιδράσεις της καύσης :



Διάγραμμα 1.3 : Ενεργειακά επίπεδα σχετιζόμενα με αντιδράσεις καύσης.
(Πηγή: Γεντεκάκης, 2003).

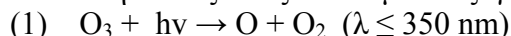
Η φάση (στερεή, υγρή ή αέρια) στην οποία βρίσκεται το καύσιμο είναι μια σημαντική παράμετρος για την επίτευξη της αντίδρασης της καύσης. Ένα καύσιμο μπορεί να αποτελείται από πτητικές ουσίες (υγρής ή αέριας μορφής), στερεούς υδρογονάνθρακες ή και τα δύο μαζί. Οι πτητικές ουσίες καίγονται ως αέρια και παράγουν μια ορατή φλόγα, ενώ τα στερεά καύσιμα καίγονται χωρίς φλόγα σε στερεή μορφή. Όταν το καύσιμο βρίσκεται στην αέρια του φάση είναι πολύ δραστικό και μπορεί να αναφλεχθεί με ένα απλό σπινθήρα, ενώ όταν βρίσκεται στην υγρή του φάση τότε πρέπει να εξατμιστεί πριν τη καύση (Boudel *et al.*, 1994).

Ο τρόπος λειτουργίας ενός καυστήρα είναι πολύ σημαντικός όσον αφορά στις εκπομπές κατά τη καύση. Μια καύση σε μια σταθερή διεργασία, όπως ένας βιομηχανικός λέβητας, λειτουργεί με σταθερό τρόπο κάτω από συνεχή ροή καυσίμου. Τα απόβλητα αέρια εκπέμπονται σταθερά και συνεχώς. Από την άλλη πλευρά, μια μηχανή ενός μεταφορικού μέσου σχετίζεται με μια σειρά περιοδικών αναφλέξεων. Οι εκπομπές της είναι πολύ διαφορετικές από αυτές ενός καυστήρα, τόσο στο είδος τόσο και στη ποσότητα. Για παράδειγμα σε έναν τετρακύλινδρο κινητήρα αυτοκινήτου ο οποίος λειτουργεί στις 2,500 στροφές ανά λεπτό γίνονται περίπου 5,000 διαφορετικές αντιδράσεις καύσης, οι οποίες αρχίζουν και ολοκληρώνονται σε κάθε λεπτό της λειτουργίας του. Γενικότερα οι εκλύσεις σε κάθε μορφής καύσης μπορούν να προβλεφθούν εάν η διαδικασία της είναι απολύτως ορισμένη. Ο πίνακας 5 (βλέπε κεφ. 2.3.1.2.1) παρουσιάζει τη σύγκριση διαφόρων διεργασιών καύσης ως προς τις εκπομπές τους (Warnatz, 1984).

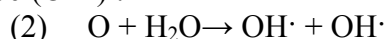
1.2.2.3.2 Σχηματισμός ελευθέρων ριζών.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία ελευθέρων ριζών στην ατμόσφαιρα από φωτοδιάσπαση ορισμένων βασικών μορίων. Οι χημικές διεργασίες σχηματισμού των ριζών είναι αλληλοσυνδεόμενες, σχηματίζοντας κύκλους μεταξύ τους, με κυριότερες τις ακόλουθες :

Τη φωτοδιάσπαση του όζοντος σε ατομικό οξυγόνο (O) και οξυγόνο (O₂),



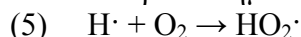
το ατομικό οξυγόνο είναι από τα συντομότερα σε χρόνο παραμονής στοιχεία στην ατμόσφαιρα (1 νανοδευτερόλεπτο sec⁻⁹). Η πλειοψηφία των μετασχηματισμένων αυτών στοιχείων, με ποσοστό 90% στην επιφάνεια της τροπόσφαιρας και 99% στην τροπόπαυση, αντιδρούν άμεσα με μόρια βασικών ατμοσφαιρικών στοιχείων της ατμόσφαιρας, όπως άζωτο (N₂) και οξυγόνο (O₂), και ουσιαστικά καταστρέφονται. Τα υπόλοιπα αντιδρούν αποκλειστικά με σταγονίδια νερού σχηματίζοντας τη ρίζα υδροξυλίου (OH·) :



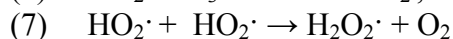
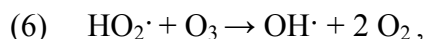
αντίδραση που είναι και πρωτογενής πηγή της συγκεκριμένης ρίζας στην ατμόσφαιρα. Η ελεύθερη αυτή ρίζα αντιδρά με τη σειρά της με μόρια χημικών ενώσεων και στοιχείων της ατμόσφαιρας όπως το μεθάνιο (CH₄) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Κατά τον τρόπο αυτό έχουμε αρχικά την εμφάνιση στην σύσταση της ατμόσφαιρας του ατομικού υδρογόνου (H₂) και στη συνέχεια της ρίζας υπεροξειδίου (HO₂·) και υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂·) :



Το ατομικό υδρογόνο με τη σειρά του αντιδρά με μόρια οξυγόνου της ατμόσφαιρας και κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η ρίζα του υπεροξειδίου :



Με αυτήν την αντίδραση δημιουργείται περίπου το 60% της συγκέντρωσης της ελεύθερης ρίζας υπεροξειδίου στην τροπόσφαιρα. Αυτή με τη σειρά της, ή αντιδρά με το όζον με αποτέλεσμα τον σχηματισμό νέων ελεύθερων ριζών υδροξειδίου, ή αντιδρά με την ίδια με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂·) :



Αυτό με τη σειρά του κατά 55% φωτοδιασπάται σε δύο ρίζες υδροξειδίου ή αντιδρά με την ελεύθερη ρίζα του υδροξειδίου σχηματίζοντας πάλι ρίζες υπεροξειδίου (HO₂) κάτι που συμβαίνει κατά 30% :



ή λαμβάνει μέρος σε ετερογενείς χημικές αντιδράσεις (Gross *et al.*, 2000).

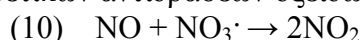
1.2.2.3.3 Φωτοχημικά οξειδωτικά (οξείδια, όζον, PAN).

Πολλοί από τους δευτερογενείς ρύπους εμφανίζουν οξειδωτική ικανότητα μεγαλύτερη από αυτή του οξυγόνου (O₂), οι οποίοι και συγκαταλέγονται στη κατηγορία των φωτοχημικών οξειδωτικών. Τα φωτοχημικά οξειδωτικά προκύπτουν από μια σειρά πολύπλοκων ατμοσφαιρικών αντιδράσεων, οι οποίες συμβαίνουν όταν ενεργές ουσίες και οξείδια του αζώτου (NO_x) συσσωρεύονται στην ατμόσφαιρα και εκτίθενται στο ηλιακό φως. Ο όρος φωτοχημικά οξειδωτικά αναφέρεται κυρίως σε τρία συστατικά της ατμόσφαιρας, στο όζον (O₃), στο διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και στα υπεροξείδια και τους ανυδρίτες του νιτρικού οξέος, όπως το νιτρικό υπεροξείδιο (PAN), που αποτελούν ταυτόχρονα και τα κύρια συστατικά του φωτοχημικού νέφους που εμφανίζεται στα αστικά κέντρα των μεγαλουπόλεων. Τα συστατικά του φωτοχημικού νέφους διαιρούνται σε πρωτογενή και δευτερογενή, ανάλογα με το αν

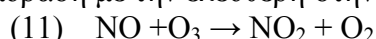
προέρχονται απευθείας από εκπομπές ή αν είναι προϊόντα δευτερεύων ατμοσφαιρικών αντιδράσεων (Γεντεκάκης, 2003).

Αρχικώς οι εκπεμπόμενοι υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του αζώτου (NO), οξειδώνονται για να σχηματίσουν διοξείδιο του αζώτου (NO₂), όζον (O₃), αλδεύδες και οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες, τα οποία και αυτά με τη σειρά τους φωτοδιασπώνται, οξειδώνονται ή αντιδρούν με ελεύθερες ρίζες συμβάλλοντας στη δημιουργία άλλων οξειδωτικών προϊόντων, όπως νιτρικά υπεροξείδια (PAN), νιτρικά οξέα και πεντοξείδιο του αζώτου (N₂O₅).

Συγκεκριμένα το μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται σε διοξείδιο μέσω διαφορετικών αντιδράσεων οξείδωσης :



με αντίδραση με την ελεύθερη στην ατμόσφαιρα νιτρική ρίζα,



με αντίδραση με το ελεύθερο όζον της ατμόσφαιρας,



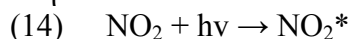
αντίδραση με κάποιον οξυγονωμένο υδρογονάνθρακα της ατμόσφαιρας,



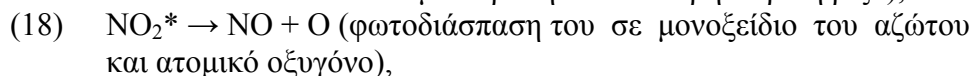
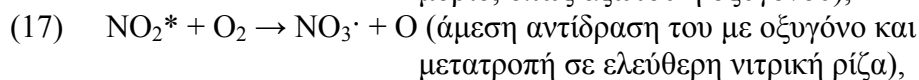
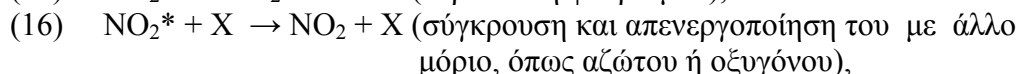
αντίδραση με την ελεύθερη ρίζα του υπεροξειδίου.

Στη συνέχεια το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) συνήθως φωτοδιασπάται μέσω ηλιακής ακτινοβολίας σε μονοξείδιο (NO) και ατομικό οξυγόνο (O). Η φωτοδιάσπαση αυτή γίνεται κατά στάδια :

Αρχικά το μόριο του διοξειδίου του αζώτου απορροφά φωτόνια, μήκους κύματος από 300 nm έως την ορατή περιοχή, γεγονός που το οδηγεί σε μια ενεργοποιημένη κατάσταση

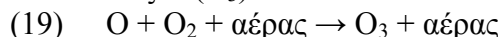


Αυτό τώρα το διεγερμένο μόριο ενδέχεται να ακολουθήσει διαφορετικές πορείες :



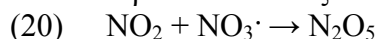
όπου μια φωτοδιάσπαση του διοξειδίου του αζώτου συνήθως συμβαίνει όταν τα φωτόνια που απορροφά είναι κάτω των 400 nm (Gross *et al.*, 2000).

Στην συνέχεια το ατομικό οξυγόνο (O) με το μοριακό (O₂) ενώνονται για να σχηματίσουν το όζον (O₃) :

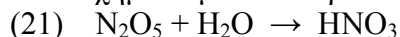


το οποίο συνήθως αντιδρά άμεσα με το μονοξείδιο του αζώτου για τον επανασχηματισμό του διοξειδίου στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα όζοντος που δεν θα αντιδράσει άμεσα με το μονοξείδιο, θα ακολουθήσει η φωτοδιάσπαση του (αντίδραση 1) και η συμμετοχή του στη δημιουργία ελευθέρων ριζών ή θα αποτεθεί στην επιφάνεια της γης προσροφημένο από αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Το διοξείδιο του αζώτου που δεν φωτοδιασπάται μπορεί να αντιδράσει με την ελεύθερη νιτρική ρίζα (NO₃·), πριν αυτή φωτοδιασπαστεί και τροφοδοτήσει πάλι την

σύσταση της τροπόσφαιρας με διοξειδία και μονοξειδία του αζώτου, σχηματίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο το πεντοξείδιο του αζώτου :

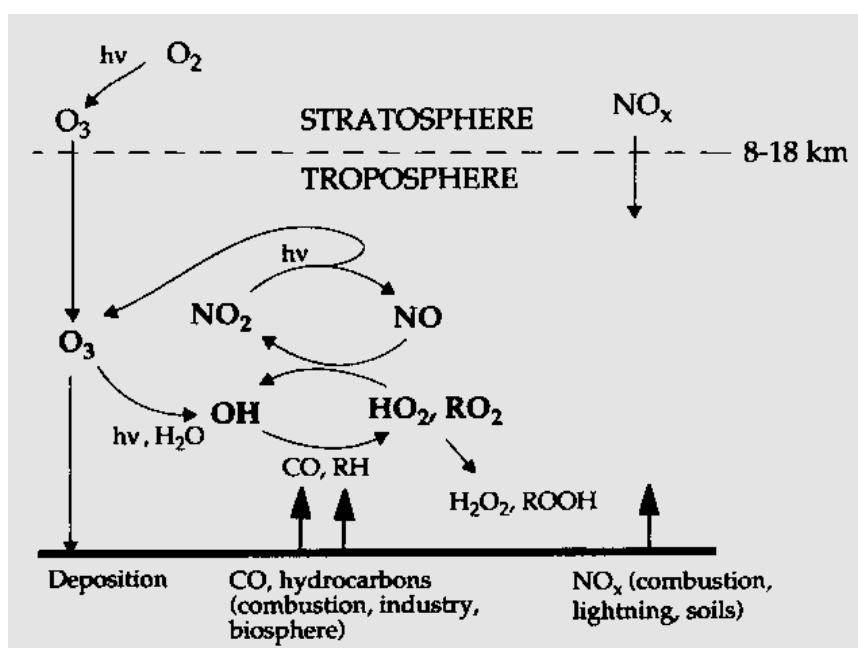


όπου είναι και ο μοναδικός τρόπος παραγωγής του στην ατμόσφαιρα. Αυτό με τη σειρά του μέσω μιας ετερογενούς αντίδρασης του με υδρατμούς της ατμόσφαιρας προκαλεί το σχηματισμό του νιτρικού οξέος στην ατμόσφαιρα (HNO_3)



Οι παραπάνω αντιδράσεις χαρακτηρίζονται από τη φωτοσταθερότητα τους, ιδιαίτερα ανάμεσα στις ενώσεις του μονοξειδίου, διοξειδίου του αζώτου και όζοντος όπου και αποτελούν τον φωτολυτικό κύκλο των οξειδίων του αζώτου στην τροπόσφαιρα (Atkinson, 2000).

Στο διάγραμμα 1.4 απεικονίζεται σχηματικά μέρος αυτών των αντιδράσεων :



Διάγραμμα 1.4 : Σημαντικότερες φωτοχημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας (Πηγή: Jacob, 2000).

Στο διάγραμμα 1.4 παρατηρούμε ότι η φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) από ένα φωτόνιο σχηματίζει ένα μόριο μονοξειδίου (NO) και ένα ατομικό οξυγόνο (O). Το τελευταίο με τη σειρά του αλληλεπιδρά με το μοριακό οξυγόνο προς τον σχηματισμό του όζοντος (O_3). Αν δεν συμβεί κάποια άλλη χημική αντίδραση, το μονοξείδιο του αζώτου και το όζον αντιδρούν και επανασχηματίζουν διοξείδιο, το οποίο μπορεί να επαναδιασπαστεί με ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα ο ίδιος κύκλος να συνεχίζεται. Για να μπορέσει να αυξηθεί η συγκέντρωση του όζοντος στην τροπόσφαιρα θα πρέπει και άλλα οξειδωτικά εκτός του O_3 να συμμετέχουν στην οξείδωση του NO_2 σε NO . Ένα τέτοιο γεγονός θα επιτρέψει στην αναλογία NO_2 / NO να αυξηθεί και να φτάσει τις τυπικές τιμές που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα. Τα οξειδωτικά που έχουν αυτόν το ρόλο, όπως είδαμε και σε παραπάνω αντιδράσεις

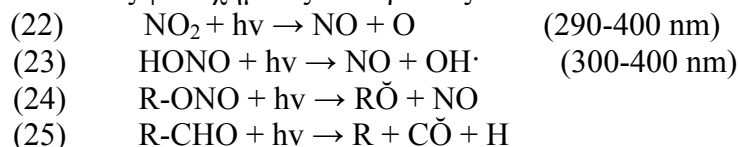
(10,11), είναι ελεύθερες ρίζες της ατμόσφαιρας και οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες (αντίδραση 12). Επίσης, για τον σχηματισμό των ελευθέρων ριζών σημαντικό ρόλο παίζει η συμμετοχή των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας μέσω της διάσπασης τους (4,12). Τέλος μέσα από τις αντιδράσεις 3,5,9 διαπιστώνεται και η συμβολή του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στη δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών (Γεντεκάκης, 2003).

1.2.2.3.4 Φωτοχημικό νέφος- καπνομίχλη.

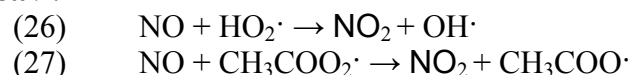
Για να σχηματιστεί ένα φωτοχημικό νέφος σε μια περιοχή απαιτείται συνδυασμός συγκεκριμένων παραγόντων όπως άπνοια με ταυτόχρονη θερμοκρασιακή αναστροφή και χαμηλή σχετική υγρασία (βλέπε κεφ. 2.2.2.4.4), εκπομπή οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων και δευτερογενών προϊόντων τους και παρουσία μεγάλης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (βλέπε κεφ. 2.2.2.3). Νέφος αιθαλομίχλης, σχηματίζεται όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση πρωτογενών ρύπων όπως μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και αιωρούμενων σωματιδίων, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή σχετική υγρασία (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2004).

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από ορισμένα μόρια, όπως το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), ή μίγματος ισοβουτένιου και οξειδίων του αζώτου (RCHO), (HONO) προκαλούν μια σειρά από φωτοχημικές αντιδράσεις. Τα προϊόντα των φωτοχημικών αντιδράσεων (βλέπε 2.2.2.3.3) είναι διάφορα δραστικά συστατικά, κυρίως ελεύθερες ρίζες οι οποίες στη συνέχεια προκαλούν διάφορους νέους κύκλους αντιδράσεων με τελικό αποτέλεσμα τη μετατροπή ενός μεγάλου ποσοστού από τους πρωτογενείς ρύπους σε δευτερογενείς, όπως το όζον (O₃), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), αλδεύδες, κετόνες, υπεροξεία, υπεροξειδία, ανιδρύτες νιτρικού οξέος κ.α.

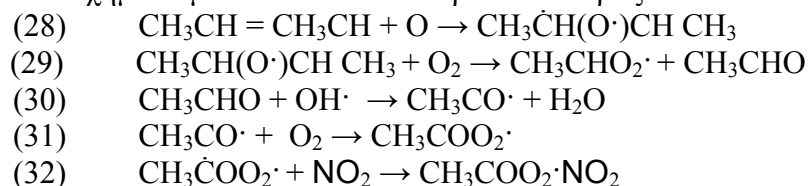
Η ακτινοβολία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός φωτοχημικού νέφους όπως φαίνεται και από τις φωτοχημικές αντιδράσεις που ακολουθούν :



Τα δραστικά συστατικά που παράγονται, με κυριότερα τις ελεύθερες ρίζες (βλέπε 2.2.2.3.3), συμμετέχουν στον σχηματισμό αντιδράσεων δευτερογενών προϊόντων όπως του όζοντος (βλέπε κεφ. 2.2.2.3.4) και του διοξειδίου του αζώτου μέσω των αντιδράσεων :



όπως και στον σχηματισμό αλδεύδων και νιτρικού - υπεροξυακετυλίου :



Η δραστικότητα των υδρογονανθράκων σε ότι αφορά τη συμμετοχή τους στις φωτοχημικές αντιδράσεις παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Οι πιο δραστικοί είναι τα

αλκένια, αλκαδιένια, και κυκλοπεντένια. Η δραστηριότητα ενός υδρογονάνθρακα ουσιαστικά καθορίζεται από τη ταχύτητα με την οποία μετατρέπει το NO σε NO₂, όταν το μίγμα υδρογονάνθρακα, οξειδίου του αζώτου και αέρα ακτινοβοληθεί με υπεριώδη ακτινοβολία (Διάγραμμα 4), (Κουιμτζή, 1997).

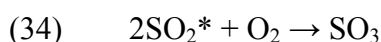
1.2.2.3.5 Φωτοοξείδωση του διοξειδίου του θείου (SO₂).

Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται στην τροπόσφαιρα και τελικώς σχηματίζει θεικές ενώσεις. Η διαδικασία της οξείδωσης του συμπεριλαμβάνει ομογενή και ετερογενή στάδια. Οι ελεύθερες ρίζες που σχηματίζονται από την διάσπαση των υδρογονανθράκων μπορούν και αντιδρούν με αυτό στην αέρια φάση. Κατά αυτόν τον τρόπο οι ρίζες του υδροξειδίου (OH) και του υδροϋπεροξειδίου (OH₂) οξειδώνουν το διοξείδιο του θείου σε ενεργά ενδιάμεσα προϊόντα όπως θειώδες οξύ (H₂SO₃) και τριοξείδιο του θείου (SO₃). Αυτά τα παράγωγα είναι υγροσκοπικά, ενώνονται γρήγορα μέσω ετερογενών αντιδράσεων με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν σωματίδια μικροσκοπικού μεγέθους (αεροζόλ) θεικού οξέος (H₂SO₄). Ένα ποσοστό του διοξειδίου του θείου (SO₂) που δεν λαμβάνει μέρος στις παραπάνω αντιδράσεις αποτίθεται απευθείας στο έδαφος μέσω προσρόφησης του από αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία κατακάθονται στο έδαφος ή προσροφάται από φύλλα φυτών (Γεντεκάκης, 2003).

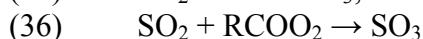
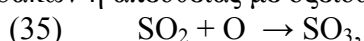
Αρχικά το μόριο του διοξειδίου του θείου απορροφά φωτόνια, μήκους κύματος από 240nm έως 400nm, γεγονός που το οδηγεί σε μια ενεργοποιημένη κατάσταση :



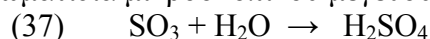
κατά την οποία αντιδρά άμεσα με το μοριακό οξυγόνο της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενεργών ενδιάμεσων προϊόντων, όπως το τριοξείδιο του θείου :



Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε μέσω αντίδρασης του διοξειδίου του θείου στην αέρια φάση του με ελεύθερες ρίζες που προκύπτουν από τη διάσπαση υδρογονανθράκων ή απευθείας με οξειδωτικές ρίζες υδρογονανθράκων :



Στη συνέχεια η σχηματιζόμενη θεική ένωση με την υγρασία της ατμόσφαιρας σχηματίζει σωματίδια μικροσκοπικού μεγέθους (αεροζόλ) θεικού οξέος (H₂SO₄) :



Οι διαδικασίες αυτές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν, από τη χρονική στιγμή της ημέρας που συμβαίνουν όπως και από τη παρουσία δραστικών υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα. Η αυξημένη υγρασία ή η παρουσία ομίχλης στην ατμόσφαιρα αυξάνει τη ποσότητα των υδρατμών και της ετερογενούς αντίδρασης τους με τις ενεργές θεικές ενώσεις για τον σχηματισμό θεικού οξέος. Κατά τη διάρκεια της ημέρας αυξάνονται κατά μεγάλο βαθμό ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, οι ομογενείς αντιδράσεις του διοξειδίου του θείου με τις ελεύθερες ρίζες εξαιτίας της ανάγκης ύπαρξης ηλιακής ακτινοβολίας για την επιτέλεση τους. Η παρουσία δραστικών υδρογονανθράκων, όπως αλκένια και αλκαδιένια, αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα οξείδωσης του διοξειδίου του θείου (Κουιμτζή, 1997).

1.2.2.4 Μετεωρολογικές συνθήκες ευνοϊκές προς τη ρύπανση.

Η ρύπανση μιας περιοχής εξαρτάται κυρίως από την ένταση και το είδος των δραστηριοτήτων που την παράγουν. Όμως επηρεάζεται έντονα και από ένα πλήθος παραγόντων που εκφράζουν τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, την τοπογραφία της, τη διασπορά ανάμεσα στον αποδέκτη και τη πηγή κ.ά. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες κοντά στην επιφάνεια της γης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά, ανάμιξη και διάχυση των ρυπαντών. Ο ρυθμός με τον οποίο ανανεώνεται ο αέρας και κατά συνέπεια απομακρύνονται οι ρύποι, εξαρτάται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση των ανέμων. Οι μηχανισμοί που ανανεώνουν τον αέρα είναι οι οριζόντιοι και κατακόρυφοι στρόβιλοι που δημιουργούνται με την πρόσκρουση του ανέμου πάνω στο έδαφος ή από τη σύγκρουση καιρικών μετώπων ή από τη σύγκλιση αυτών με κέντρα χαμηλής πίεσης. Ανοδικά ρεύματα μπορούν να προκληθούν από την ανομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας, που σε κανονικές συνθήκες μειώνεται ανάλογα με το ύψος, με αποτέλεσμα τα θερμότερα χαμηλά στρώματα να κινούνται προς τα επάνω. Οι προς τα κάτω κάθετες κινήσεις μπορούν να προκληθούν με βύθιση ανέμου ώστε να αντισταθμιστούν οι αποκλίσεις κοντά στα κέντρα υψηλής πίεσης. Σε μεγάλη ατμοσφαιρική κλίμακα ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ανοδικά ρεύματα που αραιώνουν τους ρυπαντές και τα καθοδικά που ευνοούν τη συσσώρευση τους. Όταν η ατμόσφαιρα ενισχύει τις κάθετες κινήσεις ονομάζεται ασταθής, ενώ όταν αντιστέκεται προς αυτές ονομάζεται σταθερή (Μάλλιαρος, 2000).

1.2.2.4.1 Προϋποθέσεις μεταφοράς και διασποράς ρύπων.

Μεταφορά είναι ο μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρεται η ρύπανση από μια πηγή σε έναν αποδέκτη. Ο άνεμος είναι το κυριότερο μέσο μεταφοράς με το οποίο οι ρύποι μεταφέρονται. Η γεωμορφολογική διαμόρφωση μιας περιοχής καθορίζει τις τοπικές συνθήκες κίνησης του αέρα και δημιουργεί προϋποθέσεις αραίωσης ή συμπύκνωσης των ρύπων. Για παράδειγμα μια περιοχή που αποτελείται κυρίως από υψηλά κτίρια και περιβάλλεται από διάσπαρτους λόφους και βουνά έχει πολλά σημεία στασιμότητας του αέρα και μεγάλες πιθανότητες συσσώρευσης των ρύπων. Η μεγάλη οριζόντια απόσταση του αποδέκτη από τη πηγή καθώς και το ύψος της τελευταίας εγγυώνται αραίωση των ρύπων. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του νέφους της ρύπανσης σε μεγάλες αποστάσεις άνω των 5 χιλιομέτρων, αυτό δεν παραμένει κυλινδρικού σχήματος της ίδιας διαμέτρου όπως στο εσωτερικό της πηγής εκπομπής του. Διανύοντας την απόσταση αυτή, δίνες τόσο στον περιβάλλοντα αέρα, όσο και μέσα στο νέφος ρύπανσης, μετακινούν τμήματα από τα όρια του νέφους στο γύρω αέρα και αντίστροφα. Αν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα αποβολής των ρύπων από τη πηγή τους, ο άνεμος θα εξαπλώσει το εκπεμπόμενο νέφος έως ότου η ταχύτητα του γίνει ίση με την ταχύτητα του ανέμου. Αυτές οι δύο διαδικασίες, η μίξη λόγω τριβής και η εξάπλωση του νέφους, τείνουν να μεταβάλουν την πυκνότητα του σημαντικά όταν αυτό θα φτάσει στον αποδέκτη. Στο σύνολο τους αποτελούν τη διαδικασία της διασποράς η οποία όπως είδαμε έχει άμεση εξάρτηση από την ταχύτητα και τη διεύθυνση των ανέμων, την απόσταση πηγής αποδέκτη και την τοπογραφία της περιοχής (Boudel, 1994).

1.2.2.4.2 Σχέσεις πίεσεως και θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα.

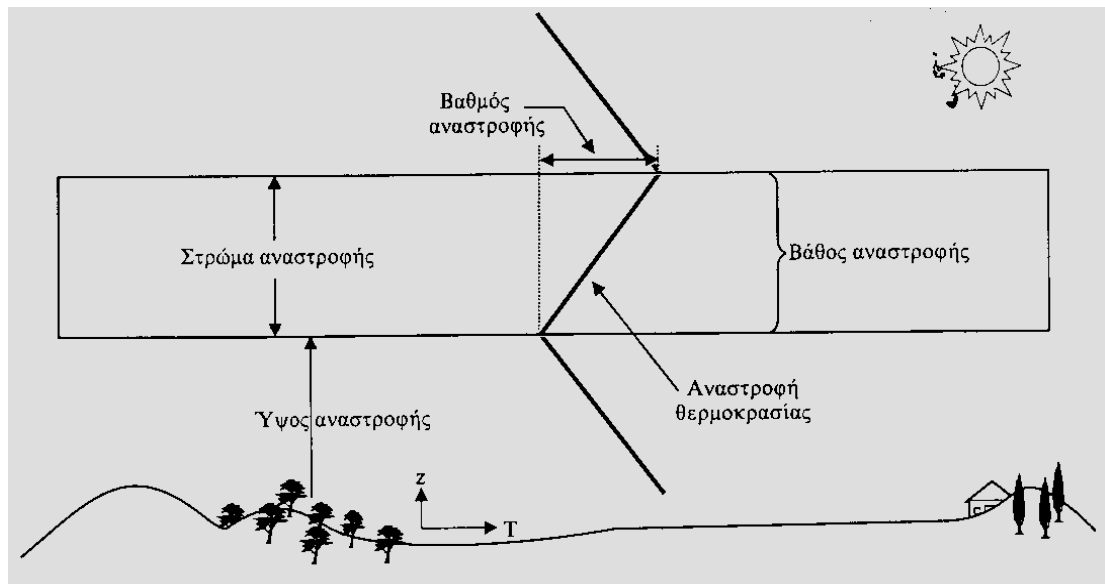
Συγκρίνοντας τις αλλαγές της πυκνότητας που προκαλούνται από την άνοδο ή κάθοδο των αερίων μαζών με την πυκνότητα του περιβάλλοντος μπορεί να προσδιοριστεί η ενίσχυση ή ο περιορισμός των κάθετων κινήσεων. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η πίεση μειώνεται ανάλογα με το ύψος, υπάρχει μια δύναμη με διεύθυνση προς τα επάνω. Από την άλλη υπάρχει η δύναμη της βαρύτητας που είναι προς τα κάτω με την άνοδο να αποτελεί τη διαφορά των δύο αυτών δυνάμεων. Καθώς ένα τμήμα αέρος ανέρχεται στην ατμόσφαιρα διογκώνεται για να συμβιβασθεί με τη πτώση της πίεσεως και η θερμοκρασία του μειώνεται, εάν υποθέσουμε ότι δεν γίνεται μεταφορά θερμότητας προς ή από το τμήμα αυτό (αδιαβατική μεταβολή όγκου) (Κωτσοβίνου, 1992).

1.2.2.4.3 Προσδιορισμός της σταθερότητας της κατώτερης ατμόσφαιρας.

Η αδιαβατική μεταβολή της θερμοκρασίας ενός τμήματος αέρος ανάλογα με το ύψος, όπου η θερμοκρασία μειώνεται με τέτοιο ρυθμό ώστε να βρίσκεται πάντα σε ισορροπία με τον περιβάλλοντα αέρα, χωρίς να γίνεται μεταφορά θερμότητας προς ή από αυτό το τμήμα, στην πραγματικότητα είναι απίθανο να συμβεί. Κατά τη θέρμανση του εδάφους στη διάρκεια της ημέρας και της ψύξης του κατά τη νύχτα, η ατμοσφαιρική στρώση θερμαίνεται ή ψύχεται αντιστοίχως, με αποτέλεσμα η βαθμίδα της θερμοκρασίας της κατώτερης αυτής ατμόσφαιρας σπανίως να συμπίπτει με την αδιαβατική μεταβολή. Έτσι, η ατμόσφαιρα θα είναι είτε ασταθής, οπότε οι ανωστικές δυνάμεις δημιουργούν τη κατακόρυφη κίνηση των αερίων μαζών προς τα άνω, είτε σταθερή όπου οι ανωστικές δυνάμεις εμποδίζουν την κατακόρυφη κίνηση τους προς τα άνω ή μπορεί και να επιτρέπουν την κατακόρυφη κίνηση τους προς τα κάτω. Στην πρώτη περίπτωση η πτώση της θερμοκρασίας με το ύψος γίνεται γρηγορότερα από την αδιαβατική, με αποτέλεσμα το τμήμα αέρος να συνεχίσει να κινείται προς τα πάνω ως θερμότερο και ελαφρύτερο του περιβάλλοντα αέρος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, η πτώση της θερμοκρασίας με το ύψος είναι μικρότερη της αδιαβατικής, με αποτέλεσμα σε κάποιο υψόμετρο η θερμοκρασία του ανερχόμενου τμήματος και του περιβάλλοντος αέρα να γίνουν ίσες και να μηδενιστεί η ανωστική πορεία του ή να ξεκινήσει μια καθοδική πορεία. Οι σοβαρότερες μορφές ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμβαίνουν όταν η κατώτερη ατμόσφαιρα είναι ευσταθής ή όταν πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (200-500μ) υπάρχει μια ευσταθής στρώση. Εξαιρετικές συνθήκες ευστάθειας χαρακτηρίζονται από αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας ανάλογα με το ύψος, κάτι που ονομάζεται θερμοκρασιακή αναστροφή γιατί είναι ακριβώς αντίστροφο φαινόμενο του φυσιολογικού (Κωτσοβίνου, 1992).

1.2.2.4.4 Αναστροφές θερμοκρασίας.

Ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία της τροπόσφαιρας αντί να ελαττώνεται με το ύψος, αντιθέτως αυξάνει όπως διακρίνεται και στο διάγραμμα 1.5.



Διάγραμμα 1.5: Σχηματική αναπαράσταση αναστροφής θερμοκρασίας.

Το στρώμα του αέρα μέσα στο οποίο συμβαίνει αυτό το φαινόμενο ονομάζεται στρώμα αναστροφής. Το πάχος του ποικίλει από μερικά μέτρα μέχρι 2-3 χιλιόμετρα, ενώ το μέγεθος της θερμοκρασίας μεταβολής μπορεί να πάρει τιμές ακόμα και πάνω από 10°C . Ανάλογα το ύψος στο οποίο συμβαίνουν οι αναστροφές διακρίνονται σε αναστροφές επιφάνειας, όταν ξεκινούν αμέσως πάνω από το έδαφος και ελεύθερης ατμόσφαιρας όταν αυτές συμβαίνουν σε κάποιο ύψος. Οι παράγοντες που οδηγούν στην εμφάνιση του φαινομένου είναι αρκετοί και συχνά δρουν σε συνδυασμό. Οι αναστροφές επιφάνειας ανάλογα με τον βασικό παράγοντα σχηματισμού τους διακρίνονται σε αναστροφές ακτινοβολίας, ορειγραφικές αναστροφές, αναστροφές θερμού αέρα και αναστροφές χιονοσκεπούς εδάφους. Από την άλλη οι αναστροφές ελεύθερης ατμόσφαιρας διακρίνονται σε αναστροφές τριβής, δυναμικές, αντικυκλωνικές και μετωπικές (Γεντεκάκης, 2003).

Οι αναστροφές θερμοκρασίας έχουν την τάση να δημιουργούν σταθερές ατμοσφαιρικές καταστάσεις, όπως σταθερότητα αερίων μαζών, με αποτέλεσμα τη δυσχέρεια της ανάμιξης τους στην ατμόσφαιρα και του διασκορπισμού των ρύπων όταν αυτοί παρουσιάζονται. Έτσι η θερμοκρασιακή αναστροφή δημιουργεί ένα ατμοσφαιρικό στρώμα στασιμότητας όπου παύει κάθε κίνηση ανανέωσης του αέρα και μόλις εισέλθουν οι θερμές μάζες των ρύπων ανέρχονται για λίγο, ψύχονται, συναντούν στρώματα θερμότερα και σταματά η ανοδική τους πορεία. Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι σύνηθες φυσικό φαινόμενο το οποίο συμβαίνει κάθε βράδυ μετά τη δύση του ηλίου και διακόπτεται το πρωί με την ανατολή. Το πρόβλημα αρχίζει όταν το φαινόμενο αυτό διαρκέσει μερικές μέρες, οπότε οι παγιδευμένοι ρύποι δημιουργούν υψηλές συγκεντρώσεις και προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Παράλληλα, με τη παρεμβολή της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της ηλιακής ενέργειας αρχίζουν αντιδράσεις που δημιουργούν δευτερογενείς ρύπους (Μάλλιαρος, 2000).

1.2.2.4.5 Θερμοκρασιακή αναστροφή και φωτοχημεία στα αστικά κέντρα.

Οι εκπομπές αέριων ρυπαντών από κινητές και σταθερές ανθρωπογενείς πηγές έχουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από αυτές του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά αυτόν τον τρόπο ένα τμήμα αέρος αναμειγμένο με ρυπαντές έχει θερμοκρασία υψηλότερη του περιβάλλοντος και η μέση πυκνότητα του θα είναι μικρότερη από τη γύρω πυκνότητα, με αποτέλεσμα αυτό να αρχίσει να μετακινείται ανοδικά στην ατμόσφαιρα. Ενώ η θερμοκρασία του συνεχώς θα ελαττώνεται όσο αυτό μετακινείται προς τα άνω, σε κάποιο σημείο θα σταματήσει την ανοδική του πορεία. Το σημείο αυτό είναι καθοριστικός παράγοντας για την ανακούφιση των μεγαλουπόλεων από τη ρύπανση, διότι σε περιπτώσεις νηνεμίας ο μόνος τρόπος αναμείξεως των ρυπαντών με τον καθαρό αέρα και μείωσης των συγκεντρώσεών τους είναι η κατακόρυφη ανάμιξη τους. Στην περίπτωση της θερμοκρασιακής αναστροφής το τμήμα αυτό του αέρα θα ανέλθει το πολύ μέχρι τη βάση αυτής, γιατί η θερμοκρασία που θα έχει εκεί θα είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της βάσης της αναστροφής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.6 (Κωτσοβίνου, 1994).

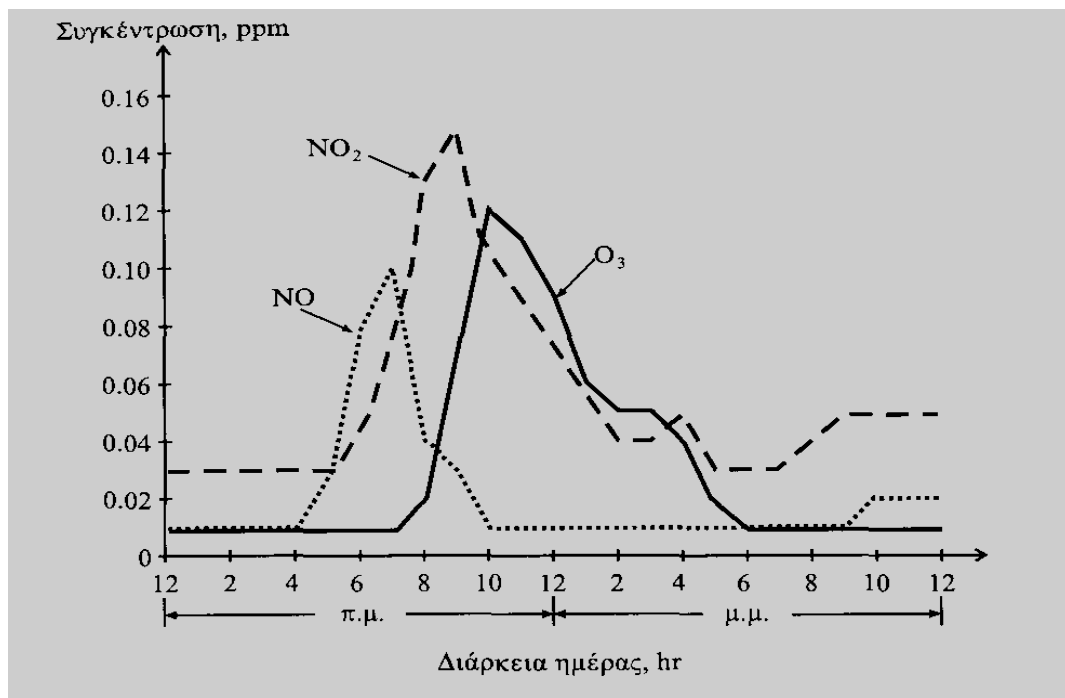


Διάγραμμα 1.6: Σκιαγράφηση της θερμοκρασιακής αναστροφής σε μεγαλούπολη. (Πηγή: Κουιμτζή, 1997).

Η βάση της θερμοκρασιακής αναστροφής συνήθως εμφανίζεται στα 200-400 m. Εάν φανταστούμε μια μεγάλη πόλη τυπικής διαμέτρου 40 km, λαμβάνοντας υπόψη ότι όλοι οι βασικοί ρύποι εκπέμπονται μέσα σε αυτή τη στρώση, σε περίπτωση απουσίας ισχυρών ανέμων ο διαθέσιμος αέρας αναμείξεως είναι πολύ περιορισμένος. Οι ρυπαντές της πόλης σε αυτή την περίπτωση θα μπορέσουν να διαλυθούν σχετικά γρήγορα μέσα σε αυτή τη μικρή στρώση μίξεως, αλλά δεν μπορούν να διεισδύσουν σε υψηλότερες στρώσεις εξαιτίας της θερμοκρασιακής αναστροφής. Κατάλληλες συνθήκες δημιουργούνται στο τέλος του φθινοπώρου και του χειμώνα, με την ύπαρξη υψηλών τιμών της ατμοσφαιρικής υγρασίας και την έντονη παραγωγή σωματιδίων και διοξειδίου του θείου από την πρόσθεση των εκπομπών των κεντρικών θερμάνσεων.

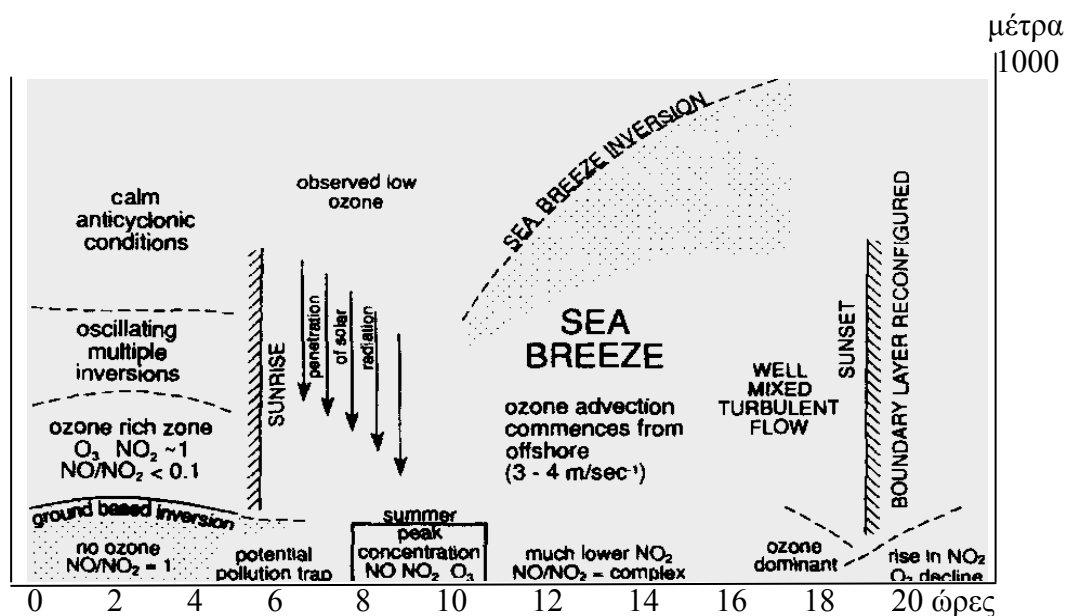
Σε τέτοιες συνθήκες το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου, που απορροφά την ατμοσφαιρική υγρασία και παράγονται θειικά άλατα και θειικό οξύ σε αέρια και σωματιδιακή φάση (Μάλλιαρος, 2000).

Τα επεισόδια θερμοκρασιακών αναστροφών μαζί και με άλλους παράγοντες όπως η έντονη ηλιοφάνεια, η γεωμορφολογική διαμόρφωση και η παρουσία σημαντικών πρωτογενών ρυπαντών όπως οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα, δημιουργούν ιδανικές συνθήκες σχηματισμού φωτοχημικού νέφους, καπνομίχλης και γενικά έντονων φαινομένων ρύπανσης σε κατοικημένες περιοχές. Σοβαρά περιστατικά θερμοκρασιακών αναστροφών με παράλληλη εμφάνιση έντονων φαινομένων ρύπανσης έχουν συμβεί από τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα με δυσάρεστες συνέπειες των τοπικών πληθυσμών. Το Δεκέμβριο του 1930 στη κοιλάδα Meuse του Βελγίου, η οποία έχει μήκος 24 km και περικλείεται από λόφους ύψους 90 μέτρων με ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανικών πηγών ρύπων να εκπέμπονται, μια θερμοκρασιακή αναστροφή, η οποία κράτησε μια εβδομάδα, κόστισε τον θάνατο δεκάδων κατοίκων και προκάλεσε αναπνευστικά προβλήματα σε πολλούς περισσότερους. Στη πόλη Donora της Πενσυλβανίας η οποία είναι χτισμένη μέσα σε μια κοιλάδα και έχει πληθυσμό 14000 κατοίκους, το 1948 μια θερμοκρασιακή αναστροφή τριών ημερών προκάλεσε το θάνατο 20 ανθρώπων και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος σε 7000. Στο Λονδίνο το 1952 παρουσιάστηκε φαινόμενο θερμοκρασιακής αναστροφής προκαλώντας τον σχηματισμό καπνομίχλης (αιθαλομίχλης) για χρονική διάρκεια 5 ημερών. Πρωτογενείς ρύποι με πρωταγωνιστές το διοξείδιο του θείου τον καπνό αλλά και την παράλληλη παρουσία υγρασίας προκάλεσαν το θάνατο σε 4000 άτομα. Οι περισσότεροι θάνατοι προήλθαν από βρογχίτιδα (39%), από καρδιαγγειακά επεισόδια (20%) και αναπνευστικά προβλήματα (17%) ενώ η νοσηρότητα έπληξε το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού της πόλης. Στο Λος Άντζελες το 1940, σε μια θερμοκρασιακή αναστροφή καταγράφηκε για πρώτη φορά το φωτοχημικό νέφος ως φαινόμενο, το οποίο αρχικά χαρακτηρίζεται από πρωτογενής ρύπους και τη μετατροπή τους σε δευτερογενείς, με υψηλή συγκέντρωση οξειδωτικών όπως O_3 , NO_2 , PAN. Στο διάγραμμα 1.7 απεικονίζονται οι ωριαίες μέσες συγκεντρώσεις των ρύπων όπως εμφανίσθηκαν στη πρώτη επίσημη καταγραφή φωτοχημικού νέφους, την 19^η Ιουλίου το 1965 στο Λος Άντζελες. Το φαινόμενο προκάλεσε μείωση της δραστηριότητας και γενική δυσφορία του πληθυσμού και έκτοτε επαναλαμβάνεται συχνά σε μεγάλα αστικά κέντρα σε πολλές περιοχές του κόσμου (Κουιμτζή, 1997).



Διάγραμμα 1.7: Ωριαίες συγκεντρώσεις πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων στη πόλη του Λος Άντζελες (Πηγή: Ross, 1972).

Στο διάγραμμα 1.8 απεικονίζεται ο σχηματισμός ωριαίων συγκεντρώσεων δευτερογενών φωτοχημικών ρύπων στην πόλη της Αθήνας κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι οποίες έχουν αρκετές ομοιότητες με τις αντίστοιχες του Λος Άντζελες, σε συνδυασμό με κλιματικούς και φυσιογραφικούς παράγοντες της περιοχής.



Διάγραμμα 1.8: Ωριαίες συγκεντρώσεις δευτερογενών ρύπων στη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Kassomenos *et al.*, 1994).

Σε παλιότερες βιομηχανικές πόλεις παρουσιάστηκε το φαινόμενο της «γκρι» ατμόσφαιρας ενώ στις νεότερες της «καφετί». Οι πρώτες βρίσκονται γενικά σε κρύα

και υγρά κλίματα με βασικότερους ρυπαντές οξείδια του θείου και σωματίδια, τα οποία συνδυασμένα με την ατμοσφαιρική υγρασία σχηματίζουν μια γκρίζου χρώματος άχλη που ονομάζεται αιθαλομίχλη. Ο αέρας είναι ιδιαίτερα επιβαρημένος κατά τη διάρκεια κρύων και υγρών χειμώνων, όταν η ζήτηση για πετρέλαιο οικιακής θέρμανσης και για ηλεκτρισμό είναι έντονη και η ατμοσφαιρική υγρασία υψηλή. Οι δεύτερες βρίσκονται τυπικά σε θερμά, ξηρά και με αρκετή ηλιοφάνεια κλίματα, είναι σχετικώς νεότερες και με λιγότερο ρυπαίνουσες βιομηχανίες. Κυριαρχούν στην ατμόσφαιρα οι ρύποι του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες (H/C) και τα οξείδια του αζώτου, σχηματίζοντας δευτερογενείς οξειδωτικούς ρύπους όπως όζον (O₃) και PAN μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. Η καφέ αυτή χροιά της ατμόσφαιρας είναι η φωτοχημική αιθαλομίχλη. Σήμερα στις μεγαλύτερες βιομηχανικές πόλεις δεν επικρατεί η τάση διάκρισης ανάμεσα σε γκρι και καφέ ατμόσφαιρα αλλά σε γκρι χειμώνα και καφέ καλοκαίρι (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2000).

1.3 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

1.3.1 Πηγές ρύπων

Η παρουσία των ρύπων στην ατμόσφαιρα οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σε παγκόσμια κλίμακα, οι εκπομπές ορισμένων αέριων ρύπων από την ίδια τη φύση είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Επειδή όμως οι ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων συγκεντρώνονται στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις των ρύπων στις περιοχές αυτές είναι πολλές φορές μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά όρια. Η γεωγραφική διασπορά των ρύπων που προέρχονται από φυσικές πηγές δεν έχει κατά κανόνα σχέση με ανθρώπινες δραστηριότητες. Είναι λιγότερο βλαβεροί για τον άνθρωπο από τους ρύπους ανθρωπογενείς προέλευσης. Αυτοί συνδέονται με ρυπογόνες ανθρώπινες δραστηριότητες και επομένως κυρίως βρίσκονται σε περιοχές που λειτουργούν ανθρώπινες κοινωνίες (Κώττης, 1994).

Οι σημαντικότεροι ρύποι που απαντώνται σήμερα στην ατμόσφαιρα, με βάση την προέλευση τους, κατατάσσονται σε κατηγορίες, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.3 (Manahan, 2000).

Πίνακας 1.3: Πηγές προέλευσης των σημαντικότερων ρύπων

Ατμοσφαιρικοί ρύποι	Πηγές προέλευσης
Μεθάνιο (CH ₄)	Φυσικές
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Ανθρωπογενείς, δευτερογενείς αντιδράσεις
Νιτρώδες οξείδιο (N ₂ O)	Φυσικές
Οξείδια του αζώτου (NO _x)	Ανθρωπογενείς, δευτερογενείς αντιδράσεις
Αμμωνία (NH ₃)	Φυσικές
Νιτρικό οξύ (HNO ₃)	Δευτερογενείς αντιδράσεις
Υδρογόνο (H ₂)	Φυσικές, δευτερογενείς αντιδράσεις
Ρίζα υδροξειδίου (OH)	Δευτερογενείς αντιδράσεις
Ρίζα υπεροξειδίου (HO ₂)	Δευτερογενείς αντιδράσεις
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Ανθρωπογενείς, δευτερογενείς αντιδράσεις, φυσικές
Υδρογονάνθρακες (H/C)	Φυσικές, ανθρωπογενείς
Σωματίδια ρύποι	Φυσικές, ανθρωπογενείς

Μια άλλη διάκριση των πηγών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι σε σταθερές και κινητές και αφορά περισσότερο την κατηγορία των ρύπων ανθρωπογενούς προέλευσης. Οι σταθερές πηγές μπορούν με τη σειρά τους να διακριθούν σε σημειακές, γραμμικές και περιοχικές. Οι πρώτες αποτελούν τοπικά σημεία εκπομπών στην επιφάνεια του εδάφους, όπως είναι τα σταθερά σημεία κεντρικών μονάδων θέρμανσης, βιομηχανικών διεργασιών και διάθεσης αποβλήτων. Οι δεύτερες παράγουν ρύπους σε περιορισμένο χρονικό ορίζοντα όπως είναι τα εργοτάξια και οι τρίτες αποτελούν ένα σύνολο σημειακών πηγών μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή όπως η αστική. Οι κινητές πηγές ρύπων αναφέρονται στον τομέα των μεταφορών με τις αντίστοιχες εκπομπές του (Παυλόπουλος, 2001).

1.3.1.1 Φυσικές πηγές ρύπων.

- Ηφαιστειακές εκρήξεις : Ένα ηφαίστειο που εκρήγνυται εκλύει σωματίδια ύλης και αέρια όπως διοξείδιο του θείου (SO₂), υδρόθειο (H₂S), μεθάνιο (CH₄), κ.α. Ο εκλύσεις αυτές μπορεί να είναι τέτοιου μεγέθους ώστε να βλάψουν το περιβάλλον σε μεγάλη απόσταση από την ηφαιστειακή πηγή όπως και να μεταφέρονται μέσω του αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Ανεξέλεγκτες πυρκαγιές : Αν και μπορεί να πυροδοτηθούν σε ορισμένες περιπτώσεις από ανθρώπινη αμέλεια και ασυνειδησία, κατατάσσονται στις φυσικές πηγές. Εκτεταμένες πυρκαγιές σε δάση μπορούν να δημιουργήσουν νέφος το οποίο να προκαλέσει μείωση της ορατότητας και του ηλιακού φωτός σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, μέχρι και 350 χιλιόμετρα μακριά από την εστία της φωτιάς. Τέτοιες φωτιές εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρύπων με τη μορφή καπνού, άκαυστων υδρογονανθράκων (H/C), μονοξειδίου (CO) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x) κ.λ.π.
- Δυνατοί άνεμοι : Αυτοί μετακινούν μεγάλες ποσότητες σωματιδιακής ύλης, ικανές να προκαλέσουν τέτοιο διασκορπισμό σωματιδίων στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών, που να ξεπερνά έως και δύο φορές τα ασφαλή όρια που θέτουν κατά καιρούς «τα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα». Η μείωση της

ορατότητας που μπορεί να προκληθεί από τις ανεμοθύελλες είναι ικανή να προκαλέσει ατυχήματα σε αυτοκινητοδρόμους όπως και να επηρεάσει την εναέρια κυκλοφορία.

- Θαλάσσια αύρα : Οι ωκεανοί και οι θάλασσες εκλύουν συνεχώς αεροζόλ στην ατμόσφαιρα με τη μορφή σωματιδίων άλατος (NaCl), τα οποία είναι διαβρωτικά για τα μέταλλα και τις κατασκευές. Η διαβρωτική δράση των κυμάτων στα βραχώδη πετρώματα της ξηράς προκαλεί με τη σειρά της δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.
- Χλωρίδα – Πανίδα : Μια εκτεταμένη πηγή φυσικών ρύπων αποτελούν και τα φυτά. Πάνω από δασικές περιοχές παρατηρείται ένα γαλάζιο σύννεφο το οποίο προέρχεται από ατμοσφαιρικές χημικές αντιδράσεις, στις οποίες συμμετέχουν πτητικές οργανικές ενώσεις που παράγονται από τα δένδρα του δάσους. Από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης μέσω μικροοργανισμών προκαλείται έκλυση υδρόθειου (H_2S) και μεθανίου (CH_4) στην ατμόσφαιρα αλλά και οι ίδιοι οι μικροοργανισμοί όπως οι μύκητες και η γύρη αποτελούν αέριους ρύπους.
- Θερμές πηγές - λίμνες : Τα θειούχα αέρια από τις θερμές πηγές και τους θερμοπίδακες (geysers) εκλύουν, έστω και σε τοπικό επίπεδο, έντονες οσμές. Οι αλκαλικές λίμνες και οι αλυκές έχουν και αυτές τοπικής κλίμακας επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον (Boudel, 1994).

1.3.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές ρύπων (στατικές – κινητές).

Οι στατικές πηγές εκλύουν σχετικά σταθερή ποσότητα και ποιότητα ρύπων και είναι πολύ λιγότερες σε αριθμό, από τις κινητές πηγές. Οι στατικές πηγές εξαιτίας αυτών των χαρακτηριστικών είναι ευκολότερο να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας για τις εκπομπές τους και η περιβαλλοντική νομοθεσία δείχνει να εφαρμόζεται καλύτερα σε αυτήν τη κατηγορία (Tietenberg, 1998).

Οι πηγές αυτές διακρίνονται σε πηγές ρύπων από βιομηχανικές διεργασίες, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και προσωπικές συνεισφορές ρύπων. Οι τελευταίες δύο κατηγορίες ευθύνονται για το 80% του διοξειδίου του θείου (SO_2) και το 50% του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) που εκπέμπονταν συνολικά στην ατμόσφαιρα ανεπτυγμένων βιομηχανικά χωρών τη δεκαετία του 90', ενώ η πρώτη κατηγορία συμβάλει κατά 50% στην συνολική εκπομπή υδρογονανθράκων (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Ως κινητή πηγή ρύπανσης χαρακτηρίζεται αυτή που μετακινείται στο χώρο μέσω αυτοπαραγόμενης ενέργειας. Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στις κινητές και τις σταθερές πηγές οφείλονται στην κινητικότητα του ρυπαντή, στον αριθμό των πηγών και στη διαφορετικότητα της φύσης των υπευθύνων ή κατόχων τους. Η κινητικότητα της πηγής προκαλεί φαινόμενα τυχαίας εμφάνισης των ρύπων σε λάθος χρόνο και χώρο χωρίς καμία προειδοποίηση, ο τεράστιος αριθμός τους προκαλεί δυσχέρεια στον έλεγχο των εκπομπών τους. Ο ερασιτεχνισμός των ιδιοκτητών τους μαζί με το μικρό τους μέγεθος ευνοούν συμπτώματα αναξιόπιστης συντήρησης και δυσχέρειας περιορισμού των εκπομπών, δίχως μείωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της πηγής της ρύπανσης. Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων καθιστά τις κινητές πηγές, σε αντίθεση με τις σταθερές, δυσκολότερο να προσαρμοστούν σε τοπικά

πρότυπα ποιότητας των εκπομπών τους και δυσχεραίνει την εφαρμογή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας (Tietenberg, 1998).

Οι κινητές πηγές συνεισφέρουν στο σύνολο των κυριότερων εκπεμπόμενων αερίων του αέρα και πιο συγκεκριμένα κατά 80% για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), 41% για το σύνολο των υδρογονανθράκων (H/C), 40% για το σύνολο των οξειδίων του αζώτου (NO_x), 9% για τα αιωρούμενα σωματίδια, 3% για τα οξείδια του θείου (SO₂) και συνολικά κατά βάρος για το 56% όλων των ανθρωπογενών ρυπαντών της ατμόσφαιρας των ανεπτυγμένων βιομηχανικά χωρών, σύμφωνα με στοιχεία της δεκαετίας του '90 (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Στον πίνακα 1.4 παρουσιάζονται οι πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας σε μια Τυπική Πόλη τη δεκαετία του '90: (Καρβούνης & Γεωργακέλλος 2003).

Πίνακας 1.4 : Πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας μιας αστικής περιοχής

Τομέας	CO ₂	SO ₂	NO _x
Ενέργεια	37%	72%	28%
Βιομηχανία	19%	15%	8%
Οδική κυκλοφορία	22%	4%	58%
Άλλοι	22%	9%	6%

1.3.1.2.1 Στατικές πηγές ρύπανσης.

Πηγές από βιομηχανικές διεργασίες : Προέρχονται από τις διαδικασίες επεξεργασίας πρώτων υλών όπως και των κατάλληλων χημικών μετατροπών που πραγματοποιούνται για να παραχθεί κάποιο επιθυμητό προϊόν αλλά και μια πληθώρα παραπροϊόντων. Αυτά προέρχονται από ανεπιθύμητες παράλληλες ή επάλληλες αντιδράσεις, τα περισσότερα προϊόντα των οποίων είναι έμμεσα ή άμεσα ρυπογόνοι παράγοντες για το περιβάλλον.

Σημαντικές διεργασίες πρώτων υλών είναι :

- Η επεξεργασία αργού πετρελαίου στα διυλιστήρια για την παραγωγή καυσίμων και την αποθείωση τους, η διαδικασία εξόρυξης του και μεταφοράς του με τις αντίστοιχες σε κάθε τομέα εκπομπές του. Οι ρύποι των διυλιστηρίων περιλαμβάνουν υδρογονάνθρακες (H/C) εξαιτίας διαρροών κατά τη φόρτωση των καυσίμων, υδρόθειο (H₂S) και οξείδια του θείου (SO_x) από αντιδραστήρες αποθείωσης και αναμόρφωσης των προϊόντων, μονοξείδιο του άνθρακα (CO) από διεργασίες θερμικής διάσπασης, οξείδια του αζώτου (NO_x) κυρίως από καύσεις και σωματιδιακή ύλη από κλιβάνους, μονάδες αναμόρφωσης και διάσπασης των προϊόντων.
- Η μεταποιητική βιομηχανία, κατά τον μετασχηματισμό των υλικών από μία μορφή στην άλλη, όπως η παραγωγή χάλυβα από σίδηρο με βασικές εκπομπές οξείδια μετάλλων, καπνό και σκόνη, η μορφοποίηση του αλουμινίου με εκπομπές φθορίου, η κατασκευή επίπλων από ξυλεία και χρωμάτων από στερεά υλικά και διαλύτες.

- Παραγωγή χαρτιού και χαρτοπολτού από ξύλο, με κύριες εκπομπές τις θεικές ενώσεις, οξείδια του θείου και σωματίδια.
- Παραγωγή γυαλιού με βασικές εκπομπές σωματίδια μεγέθους 300μm.
- Μεταλλευτικές δραστηριότητες. Παραγωγή σιδήρου από μεταλλεύματα σε χυτήρια με βασικές εκπομπές μονοξειδίου (CO), οξειδίων του αζώτου (NO_x), ατμούς υδρογονανθράκων και φθοριούχες ενώσεις.
- Παραγωγή πλαστικών από ρητίνες, απορρυπαντικών από λίπη και έλαια.
- Παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων με την επεξεργασία φωσφορούχων ορυκτών με έκλυση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του θείου (SO₂), υδροφθορίου (HF), αμμωνίας (NH₄) και αλάτων (NH₃).
- Χρήση οξέων για τις ανάγκες χημικών διεργασιών σε βιομηχανίες.

Πηγές ρύπων από υπηρεσίες κοινής ωφέλειας : Οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας στη σύγχρονη κοινωνία αποτελούν ένα αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής, που καθιστά δύσκολη την επιβίωση χωρίς την προσφορά τους.

Σημαντικές υπηρεσίες κοινής ωφέλειας :

- Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τέτοια μονάδα μετατρέπει την ενέργεια που προέρχεται από φυσικούς πόρους (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) σε ηλεκτρική ενέργεια για τη κατανάλωση της από το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο. Οι απώλειες στην ατμόσφαιρα πτητικών αερίων σε συγκεκριμένες διεργασίες όπως και οι εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης.
- Υγειονομική ταφή απορριμμάτων-Βιολογικός καθαρισμός. Ένας άλλος τύπος υπηρεσιών εξυπηρέτησης που μπορεί να αποτελέσει πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η απαλλαγή μας από τα προσωπικά μας στερεά απορρίμματα και υγρά απόβλητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την υγειονομική ταφή και την επεξεργασία σε βιολογικούς καθαρισμούς αντίστοιχα, σε εγκαταστάσεις συγκεκριμένων προδιαγραφών, είτε ελλιπώς σχεδιασμένα ή ακόμα και εντελώς ανεξέλεγκτα.

Στον πίνακα 1.5 προβάλλονται τα αποτελέσματα συγκρίσεων ανάμεσα σε διαφορετικές ανθρωπογενείς πηγές διεργασιών καύσης, ως προς τις εκπομπές τους (Γεντεκάκης, 2003).

Πίνακας 1.5 : Ανθρωπογενείς πηγές και βασικοί ρύποι.

	Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί			Καύση απορριμμάτων		Μη - ελεγχόμενες εκπομπές οδικής κυκλοφορίας	
	(g/kg καυσίμου)			(g/kg απορρίμματος)		(g/kg καυσίμου)	
Ρύπος	στερεά	υγρά	αέρια	ελεύθερη καύση	κλειστή καύση	βενζίνη	πετρέλαιο
CO	0	0	0	50	0	165	0
SO ₂	20xS	20xS		1.5	1,0	0,8	7,5
		16xS					
NO ₂	0,43	0,68	0,16	2.0	1,0	16,5	16,5
Αλδεύδες, κετόνες	0	0,003	0,001	3,0	0,5	0,8	1,6
Ολικοί H/C	0.43	0.05	0,005	7,5	0,5	33,0	30,0
Σωματίδια	75xΣ	2,8xΣ	0	11	11	0,05	18,0
S = περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο Σ = περιεκτικότητα στάχτης στο καύσιμο							

Πηγές ρύπων προσωπικής συνεισφοράς: Ατομικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν καθημερινές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται για λόγους πρώτης ανάγκης ή για καθαρά ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Σημαντικές ατομικές δραστηριότητες (Boudel, 1994).

- Μονάδες κεντρικής θέρμανσης.
- Μονάδες βοηθητικής θέρμανσης (τζάκια, σόμπες).
- Χρήσεις οικιακών συσκευών (ψησταριές).
- Καύση απορριμμάτων.
- Περιποίηση εξωτερικών χώρων των κατοικιών.
- Εκπλήρωση ψυχαγωγικών επιθυμιών.

1.3.1.2.2 Κινητές πηγές ρύπανσης.

Αυτές περιλαμβάνουν όλα τα μέσα μεταφοράς τα οποία κινούνται στην ξηρά, τη θάλασσα ή τον αέρα. Τα οχήματα αυτά είναι επανδρωμένα με μηχανές διαφορετικών κύκλων οι οποίες καταναλώνουν μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων, με αποτέλεσμα να εκπέμπουν ρύπους όλων των κατηγοριών, από τον πιο απλό μέχρι τον πιο σύνθετο.

Στον πίνακα 1.6 αναφέρονται μερικοί τύποι μηχανών κινητής πηγής με τα αντίστοιχα καύσιμα που καταναλώνουν και τους ρύπους που εκπέμπουν (Γεντεκάκης, 2003).

Πίνακας 1.6 : Τύποι μηχανών κινητών πηγών ρύπανσης και βασικοί ρύποι.

Τύπος μηχανής	Καύσιμο	Κύριοι ρύποι	Μέσον
Τετράχρονη	βενζίνη	HC, CO, CO ₂ , NO _x	αυτοκίνητα, δίκροχα
Δίχρονη	βενζίνη	HC, CO, CO ₂ , NO _x , σωματίδια	δίκροχα, εξωλέμβιες
Πετρελαίου	πετρέλαιο	CO ₂ , SO _x , NO _x , σωματίδια	αυτοκίνητα
Τουρμπίνα	κηροζίνη	NO _x , σωματίδια, CO ₂	αεροπλάνα, τραίνα
Ατμομηχανή	πετρέλαιο, C	CO ₂ , SO _x , NO _x , σωματίδια	πλοία

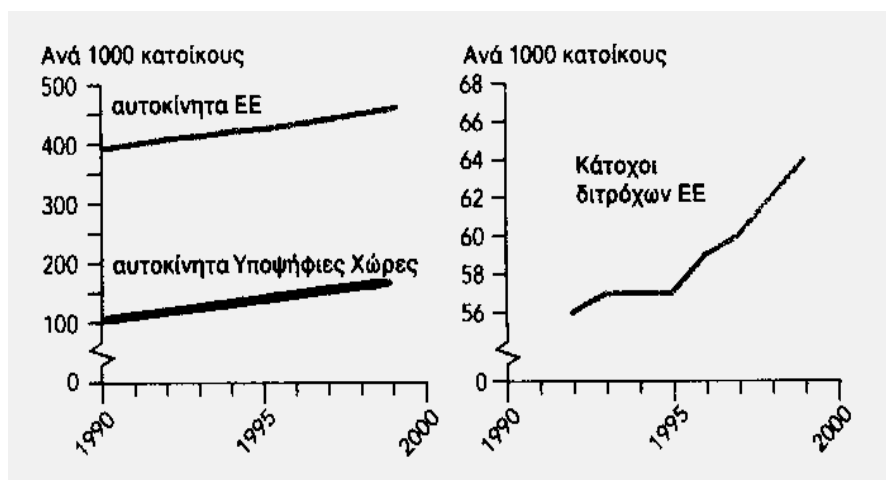
Στο πίνακα 1.7 συνοψίζονται οι σημαντικότερες πηγές κύριων ρυπαντών της ατμόσφαιρας και η ποσοτική συμμετοχή τους στο σύνολο της ατμοσφαιρική ρύπανσης στις Ηνωμένες Πολιτείες (Γεντεκάκης, 2003).

Πίνακας 1.7 : Κατηγορίες πηγών ρύπανσης και συνεισφορά τους, Η.Π.Α.

ΠΗΓΗ	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (εκ/ρια τόνοι /έτος)					
	CO	SO ₂ , SO ₃	NO, NO ₂	H/C	Σωματίδια	Σύνολα
ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ						
Αυτοκίνητο	67,3	0,3	7	12,7	0,7	88
Άλλες	3,9	0,1	1	1,1	0,5	6,6
Σύνολο	71,2	0,4	8	13,8	1,2	94,6
ΚΑΥΣΕΙΣ						
Παραγωγή ηλεκτρικής Ενέργειας	0,1	14	3,5	-	2,3	19,9
Βιομηχανία	0,3	5,5	3,1	0,1	3	12
Οικιακή θέρμανση	1,3	1,8	0,5	0,6	0,4	4,6
Άλλα	0,2	0,7	0,4	-	0,3	1,6
Σύνολο	1,9	22	7,5	0,7	6	38,2
Επεξεργασία αποβλήτων	4,5	0,1	0,7	1,4	1,2	7,9
Διάφορες κατεργασίες	7,8	7,2	0,2	3,5	5,9	24,6
Διάφορα	1,2	0,6	0,2	4,2	0,4	6,6
ΣΥΝΟΛΑ	86,6	30,3	16,6	23,6	14,6	172,8

Στη Δυτική Ευρώπη σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (Ε.Ο.Π), ο τομέας των μεταφορών είναι πλέον ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής ενέργειας, με τον όγκο των εμπορευματικών μεταφορών συνολικά στην Ε.Ε. να αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς από ότι η οικονομία (περίπου 3% ετησίως έναντι 2%). Αυτό απηχεί σε μεγάλο βαθμό τα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης σε ολόκληρη την Ευρώπη, τα οποία συνοδεύουν την επέκταση της εσωτερικής αγοράς της Ε.Ε. (Ε.Ο.Π 2004). Παράλληλα, δεν υπάρχει καμία ένδειξη μετατόπισης από το οδικό δίκτυο στους σιδηροδρόμους (όπου το μερίδιο τους μειώθηκε από 10,4% το 1991 σε 8% το 1999), με αποτέλεσμα οι οδικές μεταφορές εμπορευμάτων όπως και οι ακτοπλοϊκές, να παραμένουν τα κύρια μέσα εμπορευματικών μεταφορών, με μερίδιο

43% και 42% των χιλιομετρικών τόνων αντιστοίχως. Στο διάγραμμα 1.9 απεικονίζονται οι μέση τάση κατοχής ιδιωτικών αυτοκινήτων και δίκτροχων για τη προηγούμενη δεκαετία στα παλαιά κράτη-μέλη της Ε.Ε. και στις υπό ένταξη χώρες – μέλη (νέα μέλη σήμερα στην Ε.Ε.-25).



Διάγραμμα 1.9 : Τάσεις ιδιοκτησίας δίκτροχων και αυτοκινήτων στα κράτη της Ε.Ε. (Πηγή: Ε.Ο.Π., 2002α).

Σύμφωνα με τον Ε.Ο.Π. για την τελευταία δεκαετία του 2000, η συμμετοχή των οδικών μεταφορών στη ρύπανση της ατμόσφαιρας των 15 κρατών μελών της Ε.Ε. εκτιμάται ότι ήταν περίπου 56% για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), 44% για τα οξείδια του αζώτου (NO_x), 31% για τους άκαυστους υδρογονάνθρακες (H/C), 27% για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) και 2,8% για το διοξείδιο του θείου (SO₂), ενώ στα αστικά περιβάλλοντα τα ποσοστά αυτά αυξάνοντα σημαντικά (Ε.Ο.Π., 1999).

1.3.2 Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

1.3.2.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

1.3.2.1.1 Χαρακτηριστικά.

Είναι ένα άχρωμο, άγευστο, ελάχιστα διαλυτό και αναφλέξιμο αέριο χημικώς αδρανές σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, με μέση διάρκεια ζωής τους 2,5 μήνες. Έχει μοριακό βάρος 28 έναντι 29 του αέρα και μεγάλη ταχύτητα διάχυσης στο χώρο όπου εκπέμπεται. Είναι ένας από τους μαζικότερα παραγόμενους ρύπους της σύγχρονης εποχής όπου η ετήσια εκπομπή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί και να ισούται με το αντίστοιχο όλων των άλλων ρύπων εκείνη τη χρονιά. Η σημαντικότερη πηγή προέλευσης του είναι οι εκπομπές μεταφορικών μέσων, σε ποσοστό πάνω από το 50%, κάτι που στις έντονα αστικοποιημένες περιοχές μπορεί και να φτάσει και το 70%. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα μεταφορικά μέσα αποτελούν μια πηγή που ευθύνεται ιδιαίτερα για τη παρουσία του ρύπου στο ύψος των αναπνευστικών οδών του ανθρώπου (Μάλλιαρος, 2000).

1.3.2.1.2 Προέλευση ρύπου.

Προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές όπως η ατελής καύση κατά τη κατανάλωση καυσίμων στα μεταφορικά μέσα, στις μονάδες κεντρικής θερμάνσεως και σε διάφορες βιομηχανικές κατεργασίες αλλά και από φυσικές πηγές όπως είναι οι εκπομπές ηφαιστειών, η οξείδωση υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, οι πυρκαγιές και διάφορες βακτηριακές δράσεις. Σε μετρήσεις που γίνονται σε παγκόσμια βάση προκύπτει ότι η συγκέντρωση του στη γη παραμένει σταθερή και γύρω στα 0,1 ppm, κάτι που φανερώνει ότι παρά τη μαζική τα τελευταία χρόνια παραγωγή του υπάρχουν κάποιοι μηχανισμοί απομάκρυνσης του από την ατμόσφαιρα. Τα επίπεδα συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών είναι 5-15 ppm σε μέσο ετήσιο ποσοστό, ενώ για μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να ανέλθουν πάνω από 50 ppm, όπως σε ημέρες έντονου κυκλοφοριακού προβλήματος (Γεντεκάκης, 2003).

Όταν καίγεται ο άνθρακας σχηματίζονται δύο οξείδια, το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$, $C + O_2 \rightarrow CO_2$. Το μονοξείδιο του άνθρακα σχηματίζεται από την ατελή καύση του άνθρακα, η οποία παρατηρείται όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική ποσοτική αναλογία ανάμεσα στον αέρα και το καύσιμο, όπως και χρόνου παραμονής για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων των καυσίμων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή των συνθηκών καύσης, όπου επιδιώκεται η καλύτερη ανάμιξη καυσίμου-αέρα τόσο στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και θερμάνσεως όσο και στα μεταφορικά μέσα. Οι οικιακές μονάδες θέρμανσης παράγουν συγκριτικά περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των οχημάτων, οι οποίες και βασίζονται στη σχεδόν στιγμιαία καύση, υπό μορφή έκρηξης, του μίγματος καυσίμου αέρα. Ωστόσο, στο συνολικό παραγόμενο μονοξείδιο του άνθρακα οι στάσιμες πηγές συνεισφέρουν μόνο κατά 10%. Η παγκόσμια έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα την προηγούμενη δεκαετία ανερχόταν σε περίπου 300 εκατομμύρια τόνους ημερησίως, αποκλειστικά σχεδόν παραγόμενη στο βόρειο ημισφαίριο.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές του ρύπου είναι η ατμοσφαιρική οξείδωση του μεθανίου (CH_4), οι πυρκαγιές στα δάση και οι ωκεανοί. Η οξείδωση του μεθανίου ευθύνεται για την παραγωγή του 80% του ρύπου που βρίσκεται σε μη κατοικημένες περιοχές ενώ περίπου 3,5 δισεκατομμύρια τόνοι συνολικά παράγονται ετησίως κατ' αυτόν τον τρόπο. Το μεθάνιο παράγεται από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης που συντελείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς. Ο ζωικός μεταβολισμός είναι μια ακόμα πηγή μονοξειδίου, όπου, μόνο οι άνθρωποι, μέσω της εκπνοής τους εκλύουν κάθε φορά περίπου 1 ppm CO στην ατμόσφαιρα. Μια άλλη σημαντική πηγή μονοξειδίου έχει βρεθεί ότι είναι η επιφάνεια των ωκεανών. Δείγματα υδάτων της επιφάνειας τους, συγκρινόμενα με τη μερική πίεση του μονοξειδίου ακριβώς πάνω από αυτά, φανερώνουν μια συγκέντρωση του ρύπου κατά 90 φορές μεγαλύτερη από αυτή της ισορροπίας, γεγονός που φανερώνει τη συνεχή μεταφορά μάζας μονοξειδίου από τον ωκεανό προς την ατμόσφαιρα. Οι δύο αυτές φυσικές πηγές αποτελούν περίπου το 12% της συνολικής εκπομπής του ρύπου στην ατμόσφαιρα (Boudel *et al.*, 1994).

1.3.2.1.3 Μηχανισμοί απομάκρυνσης.

Η αιτία του τόσο μικρού χρόνου παραμονής του στην ατμόσφαιρα όπως και της μικρής του συγκέντρωσης στις μη αστικοποιημένες περιοχές βρίσκεται στη μεγάλη ταχύτητα καταστροφής του. Οι βασικότεροι φυσικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης του μονοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) μέσω της αντίδρασης του με ελεύθερες ρίζες, οξείδια του αζώτου και όζον σε ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας αλλά και η δέσμευση του από μικροοργανισμούς του εδάφους και φυτά με αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και αμινοξέα αντίστοιχα. Η τελευταία διεργασία απομάκρυνσης του από την ατμόσφαιρα στις μεγαλουπόλεις εκλείπει εξαιτίας της περιορισμένης παρουσίας ελεύθερου φυσικού εδάφους και χλωρίδας σε αυτές (Κουιμτζή, 1997).

1.3.2.1.4 Αστικό περιβάλλον.

Οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου στην ατμόσφαιρα είναι πολύ υψηλές σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου η κυκλοφορία των οχημάτων είναι πυκνή και η κίνηση αργή. Θεωρείται φθινοπωρινός ρύπος εξαιτίας της μαζικής προσέλευσης των κατοίκων στα αστικά κέντρα και της αύξησης της ζήτησης σε πετρέλαιο θέρμανσης. Επίσης σε κλειστούς ή όχι καλά αεριζόμενους χώρους η συγκέντρωση του ρύπου μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, θέτοντας σε κίνδυνο μέχρι και την ανθρώπινη ζωή. Ο πίνακας 1.8 παρουσιάζει τις μέσες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα που έχουν παρατηρηθεί σε διάφορα σημεία μιας πυκνοκατοικημένης πόλης της Δυτικής Ευρώπης ή της Αμερικής τη δεκαετία του '90 (Κωτσοβίνου, 1992).

Πίνακας 1.8 : Συνήθεις συγκεντρώσεις CO σε αστικές περιοχές.

Τιμές ρύπου	Συνήθεις εκθέσεις του κοινού σε συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα
150-470 ppm	Παρατηρούμενο γύρω από αυτοκίνητα σε κλειστούς χώρους όπως σήραγγες, υπόγειοι χώροι στάθμευσης
100 ppm	Μέση οκτάωρη συγκέντρωση μέσα στο 10-15% της καμπίνας των αυτοκινήτων στο κέντρο μιας πόλης τουλάχιστον μια φορά την ημέρα
40 ppm	Παρατηρούμενο πάνω από δρόμο κυκλοφορίας 4 λωρίδων
20-40 ppm	Ποσότητα καμπίνας αυτοκινήτων στο κέντρο της πόλης τουλάχιστον για διάρκεια μισής ώρας
10-30 ppm	Ποσότητα καμπίνας αυτοκινήτων σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας τουλάχιστον για διάρκεια μισής ώρας
15 ppm	Επίπεδα για 10 ώρες την ημέρα σε κεντρικούς δρόμους

Σημαντική είναι και η συμμετοχή του μονοξειδίου του άνθρακα στην παρουσία ελευθέρων ριζών στην ατμόσφαιρα, όπως και κατά συνέπεια στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών (βλέπε κεφ. 1.2.2.5).

1.3.2.1.5 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.

Ο έλεγχος του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα γίνεται με βάσει ορισμένα θεσπισμένα κριτήρια όπως και περιθώρια ασφαλείας. Βασισμένα σε συγκεκριμένα κριτήρια ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έθεσε ως όριο τα 10 mg/m³ συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στην ατμόσφαιρα για ένα 8ωρο και τα 40 mg/m³ ως μέγιστη ωριαία επιτρεπτή συγκέντρωση που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερες από μια φορά το χρόνο. Καταστάσεις συναγερμού δημιουργούνται όταν τα επίπεδα του ρύπου φτάσουν σε θανατηφόρα επίπεδα για μια χρονική περίοδο, με ένα πρώτο στάδιο να εφαρμόζεται όταν τα επίπεδα σε 8ωρη μέση συγκέντρωση φτάσουν τα 34 mg/m³. Εάν αυτή ανέλθει στα 46 mg/m³ εφαρμόζεται αυστηρότερη δράση ελέγχου με συνέπειες την παύση λειτουργίας βιομηχανικών μονάδων και την απαγόρευση οδικής κυκλοφορίας στην περιοχή όπου συνέβη το περιστατικό. Ο Π.Ο.Υ. έχει επίσης θεσπίσει όριο συγκέντρωσης του ρύπου για 30 λεπτά τα 60 mg/m³ και για τα 15 λεπτά τα 100 mg/m³ (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Στη χώρα μας ισχύουν τα νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για το ρύπο του μονοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση την οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση 1996/62/EK και τη θυγατρική της για τις οριακές τιμές μονοξειδίου του άνθρακα και του βενζολίου στην ατμόσφαιρα (2000/69/EK), έχουν θεσπιστεί τα όρια που απεικονίζονται στον Πίνακα 1.9.

Πίνακας 1.9 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 2000/69/EK.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία 2001 2002 2003 2004
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	10 mg/m ³ Μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή	1/1/2005	16 16 14 12 mg/m ³

1.3.2.1.6 Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.

Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα βασίζεται στην μη – σκεδαζόμενη υπέρυθρη φωτομετρία (NDIR). Αυτή σχετίζεται με την αρχή της επιλεκτικής απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το μονοξείδιο του άνθρακα. Στηρίζεται ουσιαστικά στη μέτρηση της διαφοράς απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας ανάμεσα σε ένα αέριο δείγμα κι ένα αέριο αναφοράς που δεν απορροφά σε αυτήν τη περιοχή του φάσματος. Η μέθοδος διαφέρει από την κοινή φασματομετρία υπέρυθρου στο ότι χρησιμοποιεί το σύνολο της υπέρυθρης ακτινοβολίας, η οποία διέρχεται διαδοχικά από το δείγμα και το αέριο

αναφοράς. Είναι η κλασική μέθοδος αυτόματου προσδιορισμού του ρύπου στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών. Η μέθοδος έχει αρκετή ευαισθησία ώστε να μετράει συγκεντρώσεις CO στον αέρα των δρόμων με μικρή ή μεγάλη κυκλοφορία οχημάτων (1-50 ppm), (Κουϊμτζή & Κωνσταντίνου-Σαμαρά, 1994).

1.3.2.2 Αιωρούμενα σωματίδια (PM).

1.3.2.2.1 Χαρακτηριστικά.

Ως σωματίδια νοούνται υλικά διεσπαρμένα στον αέρα, σε στερεή ή υγρή μορφή, των οποίων το μέγεθος μπορεί να ποικίλει από λίγο πάνω από το αντίστοιχο ενός μορίου (0,002 μικρόμετρα) μέχρι και τα 500 μικρόμετρα. Κατατάσσονται ανάλογα με τα φυσικά (μέγεθος, τρόπος σχηματισμού, ιδιότητες κατακαθίσεως, και οπτικές ιδιότητες), χημικά (οργανική ή ανόργανη σύσταση) και βιολογικά (βακτήρια, ιοί, σπορίδια, γύρη) χαρακτηριστικά τους (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Η σύσταση τους έχει μεγάλη ανομοιογένεια με διαφοροποιήσεις ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, το τοπικό κλίμα, την εποχή του έτους, τις βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής και την κυκλοφορία των οχημάτων. Είναι ένα ετερογενές μείγμα ποικίλου μεγέθους και χημικής σύστασης. Οι φυσικές τους ιδιότητες, τους παρέχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται, να διεισδύουν και να επικάθονται μέσα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, ενώ οι χημικές τους θεωρούνται υπεύθυνες για τις μετέπειτα επιπτώσεις τους στην υγεία (Fadel, 2000).

Τα στερεά και υγρά υλικά που βρίσκονται στον αέρα σε μορφή πολύ μικρών σωματιδίων μπορούν να αποκτήσουν ιδιαίτερες ιδιότητες, διαφορετικές ή πολύ εντονότερες από εκείνες που έχουν όταν βρίσκονται στη συνήθη κατάσταση τους. Ο λόγος είναι ότι αποκτούν μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, με συνέπεια να ενεργοποιούνται ιδιότητες, όπως η απορρόφηση αερίων και η κατάλυση χημικών αντιδράσεων. Οι επιβλαβείς επιδράσεις των σωματιδίων στους ζώντες οργανισμούς οφείλονται σε τρεις παράγοντες: στην τοξικότητα των ουσιών που αποτελούν τα σωματίδια, στην τοξικότητα των ουσιών που απορροφώνται από αυτά και στην παρεμπόδιση των αναπνευστικών λειτουργιών (Μάλλιαρος, 2000).

Τα πιο συνήθη μεγέθη σωματιδίων στα οποία έχουν βασιστεί και οι περισσότερες έρευνες είναι τα PM₁₀, διαμέτρου έως 10 μικρομέτρων, τα οποία κατακάθονται στη γη σχετικά γρήγορα εξαιτίας του βάρους τους. Τα μικρότερα σωματίδια διαμέτρου μέχρι 2,5 μικρομέτρων (PM_{2.5}) μένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα πριν κατακαθίσουν στο έδαφος και τα πολύ μικρά σωματίδια διαμέτρου μέχρι 0,1 μικρομέτρων (UFP) μπορεί να αιωρούνται διαρκώς έως ότου προσροφηθούν κάπου ή συσσωματωθούν μεταξύ τους σε μεγαλύτερα μεγέθη (Κωτσοβίνου, 1992).

Καλύτεροι δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αστικές περιοχές, η οποία προέρχεται κυρίως από πετρελαιοκινητήρες, θεωρούνται τα αναπνεύσιμα σωματίδια PM_{2.5}, για τα οποία ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα είναι και μεγαλύτερος διότι ούτε καθιζάνουν εύκολα εξαιτίας του μικρού τους βάρους αλλά ούτε και συσσωματώνονται όπως η μικρότερη κατηγορία από αυτά (UFP). Οι δύο αυτές κατηγορίες παρόλο που αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρή αναλογία ως προς τη μάζα

των σωματιδίων, αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του αριθμού τους (Manahan, 2000).

1.3.2.2.2 Κατηγορίες σωματιδίων - προέλευση ρύπου.

Ανάμεσα στους αέριους ρύπους, τα αιωρούμενα σωματίδια βρέθηκαν να είναι από τους πιο βλαβερούς. Στα αιωρούμενα σωματίδια ανήκουν τα αεροζόλ, η σκόνη, οι διάφορες ακαθαρσίες, το χώμα, η αιθάλη, ο καπνός και διαχωρίζονται σε σωματίδια ανθρωπογενούς και φυσικής προέλευσης.

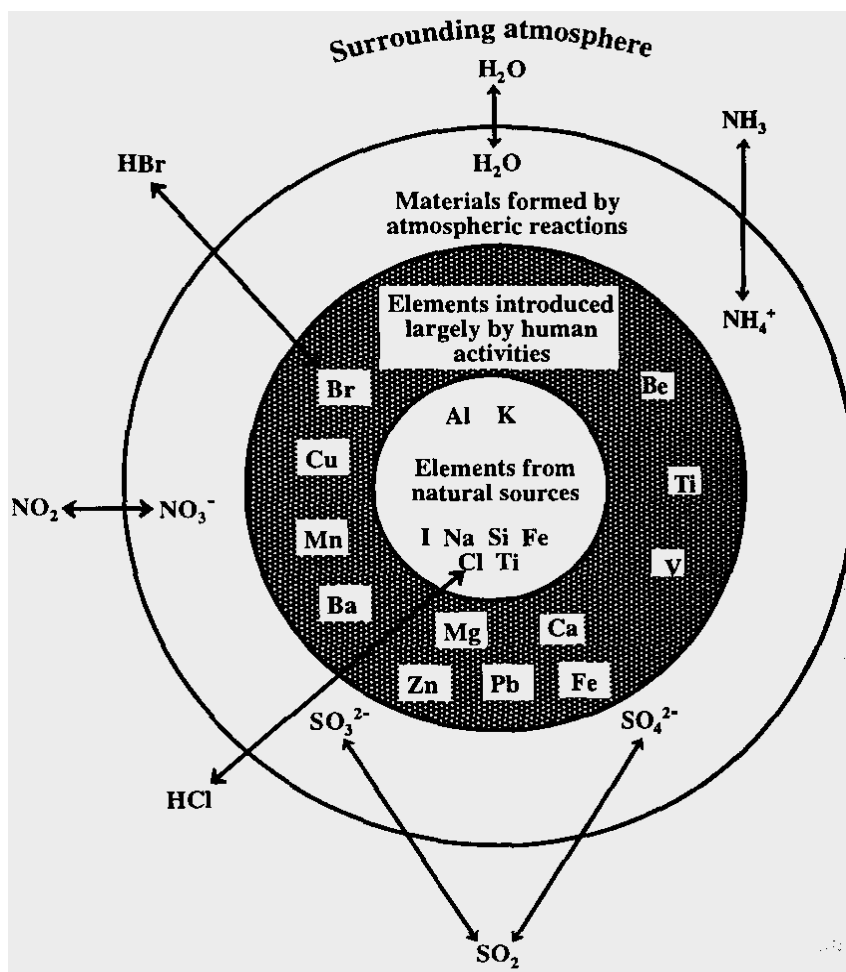
Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν :

- αυτά που εκπέμπονται απευθείας από εκπομπές εργοστάσιων, εγκαταστάσεων παραγωγής θερμικής ενέργειας, μεταφορικών δραστηριοτήτων, κατασκευαστικών εργασιών, πυρκαγιών, καύσεων γεωργικών απορριμμάτων, χρήσης αερολυμάτων, καύσεων διαφόρων υλικών,
- τα μεταλλικά οξείδια, τα ελαιώδη σταγονίδια, τα σταγονίδια οξέων, τα άλατα,
- μέταλλα όπως ο σίδηρος (Fe), το βανάδιο (V), το νικέλιο (Ni), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), ο μόλυβδος (Pb) και το μαγνήσιο (Mn),
- ανόργανες ενώσεις της ατμόσφαιρας όπως οξείδια,
- νιτρικές και θεικές, οργανικές ενώσεις, όπως πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, αιθέρες, αμίνες, καρβοξυλικά οξέα, αλδεΐδες κ.ά.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν σωματίδια φυσικής προέλευσης όπως σταγονίδια θαλάσσης, τέφρα ηφαιστείων, σπορίδια, ίνες φυτών, σκουριές και τέφρα ηφαιστείων, σωματίδια από πηγές βιολογικής προέλευσης όπως γύρη, βακτήρια, ιοί, ενδοτοξίνες, πρωτόζωα, μύκητες κ.ά.

Τα αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα από τις παραπάνω πηγές άμεσα (πρωτογενώς) ή μπορούν να μορφοποιούνται σε μικροσκοπικά σταγονίδια της ατμόσφαιρας (δευτερογενώς) μέσω συμπύκνωσης τους μαζί με αέριες χημικές ενώσεις που υπάρχουν στο περιβάλλον, όπως διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις κ.ά., (Quah *et al.*, 2003).

Στο διάγραμμα 1.10 απεικονίζονται μερικά από τα ανόργανα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας όπως και ο τρόπος σχηματισμού τους.



Διάγραμμα 1.10: Σημαντικά ανόργανα συστατικά σωματιδίων και η προέλευση τους (Πηγή: Mahanan, 2000).

Ο πυρήνας των σωματιδίων όπως δείχνει και το παραπάνω διάγραμμα αποτελείται από στοιχεία φυσικής προέλευσης όπως αργίλιο (Al), κάλλιο (K), νάτριο (Na), χλώριο (Cl) κ.ά. Οι δύο επόμενες στοιβάδες των σωματιδίων αποτελούνται από στοιχεία ή ενώσεις που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή διάφορους ατμοσφαιρικούς μετασχηματισμούς, όπως βρώμιο (Br), χαλκό (Cu), ασβέστιο (Ca), μόλυβδο (Pb) κ.ά. Τελικό αποτέλεσμα από τον σχηματισμό των διαδοχικών στοιβάδων των σωματιδίων είναι να υπάρχουν προσροφημένα στοιχεία ή ενώσεις πάνω σε αυτά όπως υδροχλώριο (HCl), οξείδια του θείου (SO_2, SO_3), οξείδια του αζώτου (NO_x), αμμωνία (NH_3) κ.ά., που τα μετατρέπουν σε φορείς ρύπων.

Στον πίνακα 1.10 αναφέρονται οι κυριότερες κατηγορίες σωματιδίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα με τα αντίστοιχα μεγέθη τους (Mahanan, 2000).

Πίνακας 1.10 : Βασικές κατηγορίες σωματιδίων και μεγέθη αυτών.

Κατηγορίες σωματιδίων	Μεγέθη σωματιδίων μm
Αεροζόλ	0,001μm - 50μm
Ομίχλη	1μm - 50μm
Άχλη	50μm - 500μm
Καπνός τσιγάρου	0,01μm - 0,5μm
Οξείδια	0,01μm - 0,5μm
Πυρήνας NaCl (άλας)	0,1μm
Σταγόνες βροχής	500μm - 5000μm
Ατμοί NH ₄ Cl (χλωριούχου αμμωνίου)	0,1μm - 1μm
Βακτηρίδια	0,5μm - 10μm
Σκόνη εντομοκτόνων	0,5μm - 10μm
Σταγονίδια H ₂ SO ₄ (θειικό οξύ)	0,5μm - 10μm
Σκόνη τσιμέντου	1μm - 100μm
Σπόροι φυτών	10μm - 50μm
Κονιοποιημένος άνθρακας	10μm - 500μm

Έχοντας μια τόσο ανομοιογενή προέλευση και σύσταση, ο εντοπισμός της τοξικότητας απέναντι στον άνθρωπο του κάθε συστατικού ξεχωριστά είναι εξαιρετικά δύσκολος και αποτελεί πρόκληση για την επιστήμη. Η φύση και η έκταση της ασθένειας που αναπτύσσεται συνδέεται άμεσα με τη φύση των σωματιδίων, με τη συγκέντρωσή τους, την παρουσία άλλων ρυπαντών όπως και τη διάρκεια εκθέσεως σε αυτά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η τοξικότητα που αποκτούν τα σωματίδια όταν αυτά μεταφέρουν αερομεταφερόμενα μέταλλα και υδρογονάνθρακες. Έντονα προβλήματα υγείας συνδέονται με σωματίδια μολύβδου, ο οποίος εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ως στοιχειακός μολύβδος (Pb), ως οξείδια μολύβδου (PbO, PbO₂), ως θειικός και θειούχος μολύβδος (PbSO₄, PbS), ως αλκυλιούχος μολύβδος και ως αλογονούχος μολύβδος (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

1.3.2.2.3 Αστικό περιβάλλον.

Σημαντική είναι η συμμετοχή των αιωρούμενων σωματιδίων στον σχηματισμό αιθαλομίχλης στα μεγάλα αστικά κέντρα, γιατί δίνεται η δυνατότητα προσρόφησης αερίων και ταυτόχρονα προωθούνται χημικές αντιδράσεις λόγω καταλυτικών ιδιοτήτων, με αποτέλεσμα η φωτοχημική αιθαλομίχλη να ενισχύεται (Μάλλιαρος, 2000).

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματική τους απόθεση στο πνευμονικό σύστημα του ανθρώπου και εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από τις πηγές εκπομπής τους. Στα αστικοποιημένα περιβάλλοντα και στη κατηγορία των αιωρούμενων σωματιδίων από 2.5 έως και 10 μm περιλαμβάνεται κατά κύριο λόγο τα σωματίδια τύπου κρυστάλλου τα οποία μπορεί να προέρχονται από τη γεωργία, τις κατασκευές, τις εξορύξεις μέσω μηχανικών αιτιών ή τριβής, από την οδική κυκλοφορία μέσω εκπομπών των

οχημάτων, από τη σκόνη του δρόμου ή το εδαφικό χώμα όπως και από βιολογικής προέλευσης πηγές (γύρη, μύκητες). Στη κατηγορία των σωματιδίων από 0,1 έως και 2,5 μm περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται αποκλειστικά από πηγές καύσης άνθρακα, ξυλείας, υγρών καυσίμων άλλα και κονιοποίηση μεγαλύτερων σωματιδίων (PM_{10}) που επικάθισαν στην επιφάνεια του εδάφους. Μερικά από τα πιο αντιπροσωπευτικά ανόργανα χημικά στοιχεία που απαντώνται στη σύσταση των σωματιδίων των παραπάνω κατηγοριών είναι το πυρίτιο (Si), το θείο (S), το χλώριο (Cl), το κάλλιο (K), το βανάδιο (Va), το μαγνήσιο (Mg), ο άργιλος (Al), το νικέλιο (Ni), ο ψευδάργυρος (Zn), το σελήνιο (Se), το βρώμιο (Br), ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu) και ο σίδηρος (Fe) (Laden *et al.*, 2000).

Η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικά περιβάλλοντα εξαρτάται άμεσα από κλιματικούς παράγοντες. Όταν πρόκειται για σωματίδια ανόργανων στοιχείων πρωτογενούς προέλευσης, ανεξαρτήτου μέγεθος, παρατηρείται μια αυξητική τάση της συγκέντρωσης τους την περίοδο του χειμώνα όταν πολλαπλασιάζονται οι εστίες εκπομπής τους. Από την άλλη, έχουμε αύξηση των σωματιδίων δευτερογενούς προέλευσης, τα οποία φιλοξενούν προσροφημένα αέρια φωτοχημικών αντιδράσεων (κυρίως οξείδια και υδρογονάνθρακες) κατά την καλοκαιρινή περίοδο, λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας. Η ταχύτητα, όπως και η διεύθυνση του ανέμου, με τη σειρά τους είναι σημαντικοί παράγοντες συσσώρευσης αιωρούμενων σωματιδίων σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές, όπου παρατηρείται μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους (Chaloulakou *et al.*, 2003).

Σωματίδια ανόργανων σουλφιδίων, θεικού οξέος και άλλων θεικών αλάτων υπολογίζονται ότι καταλαμβάνουν ανάμεσα από το 5% έως το 20% των σωματιδίων που περιέχονται σε δείγματα αέρα αστικών περιοχών. Το 90% των εκπεμπόμενων σωματιδίων από πετρελαιοκίνητα οχήματα είναι, κατά μάζα, PM_{10} . Η συνεισφορά από εκπομπές καυσαερίων πετρελαιοκίνητων οχημάτων στη πόλη της Αθήνας είναι 49,9% για τα PM_{10} και 53,8% για τα $\text{PM}_{2.5}$ (Chaloulakou *et al.*, 2005). Στην πόλη του Λος Άντζελες το 64% των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχονται από πετρελαιοκίνητα οχήματα ενώ το 36% από βενζινοκίνητα. Οι σημαντικότερες πηγές προέλευσης σε αστικές περιοχές είναι μέσω της καύσης των παραπάνω καυσίμων, από τη φθορά των ελαστικών, και την επαναιώρηση (Schauer *et al.*, 1996). Για περισσότερο από το 60% της εκπομπής PM_{10} στην ατμόσφαιρα μιας κεντρικής περιοχής στη πόλη της Νέας Υόρκης ευθύνεται η κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου κίνησης, 5% περίπου συνεισφέρει η σκόνη των δρόμων, 10% η κατανάλωση ναυτικού πετρελαίου (1%S), πάνω από 10% η καύση πετρελαίου θέρμανσης από σταθερές πηγές και γύρω στο 10% συνεισφέρει η παρουσία θεικού και νιτρικού αμμωνίου σε μορφή αιωρούμενων σωματιδίων που σχηματίζονται από την οξείδωση των διοξειδίων του θείου και του αζώτου αντίστοιχα. Μια έρευνα σε 7 διαφορετικές πόλεις της Αμερικής έδειξε τις κινητές πηγές να είναι ο βασικός παράγοντας εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$) στην αστική ατμόσφαιρα, με το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτά είναι σε μορφή θεικού και νιτρικού αμμωνίου προερχόμενα από την οξείδωση των καυσαερίων των οχημάτων (Gertler, 2005).

Υπερβάσεις των οριακών τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων, εμφανίζονται κυρίως σε περιοχές της Ευρώπης με ξηρό και ηπειρωτικό κλίμα. Τα PM_{10} αποτελούν λιγότερο συχνά πρόβλημα στις παραθαλάσσιες χώρες με υγρό κλίμα, καθώς οι

βροχοπτώσεις είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος απομάκρυνσης των σωματιδιακών αερολυμάτων από την ατμόσφαιρα (Ε.Ο.Π., 2004).

1.3.2.2.4 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – Οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.

Στη χώρα μας ισχύουν τα νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για το ρύπο των αιωρούμενων σωματιδίων, σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση την οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση 1996/62/ΕΚ και τη θυγατρική της 1999/30/ΕΚ, για τις οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) στην ατμόσφαιρα, έχουν θεσπιστεί τα όρια που απεικονίζονται στον Πίνακα 11 (Directive 1999/30/EC).

Πίνακας 1.11 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 1999/30/ΕΚ.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία 2001 2002 2003 2004
Αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	50 µg/m ³ Μέση ημερήσια τιμή, των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά έτος	1/1/2005	70 65 60 55 µg/m ³
	40 µg/m ³ μέση ετήσια τιμή	1/1/2005	46,4 44,8 43,2 41,6 µg/m ³

Με βάση την οδηγία 2005/0183/ΕΚ, για τις οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5}) στην ατμόσφαιρα έχουν θεσπιστεί απόλυτα ανώτατα όρια συγκέντρωσης τους, που απεικονίζονται στο Πίνακα 1.12 και είναι σε ξεχωριστό κανονιστικό πλαίσιο από τους υπόλοιπους ρύπους εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν υφίσταται συγκεκριμένο όριο κάτω από το οποίο η συγκέντρωσή τους δεν αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία .

Πίνακας 1.12 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 2005/0183/EK.

Αιωρούμενα σωματίδια PM _{2.5}	Μέση χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Τελική ημερομηνία για επίτευξη της συγκέντρωσης
Ανώτατο όριο συγκέντρωσης	Ημερολογιακό έτος	25 µg/m ³	20% κατά τη θέση σε ισχύ της οδηγίας, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να κατά λήξει σε 0% έως την 1η Ιανουαρίου 2010	1η Ιανουαρίου 2010

Οι σχετικές με την ενέργεια εκπομπές σωματιδίων μειώθηκαν κατά 37% μεταξύ 1990 και 1999, κυρίως εξαιτίας των μειώσεων που σημειώθηκαν στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στις οδικές μεταφορές. Παρά το αποτέλεσμα αυτό, υπολογίζεται ότι ένα ποσοστό έως και 45% του αστικού πληθυσμού της Ευρώπης παραμένει εκτεθειμένο σε συγκεντρώσεις σωματιδίων που υπερβαίνουν τις οριακές τιμές των οδηγιών (Ε.Ο.Π., 2004).

1.3.2.2.5 Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.

Η μέθοδος μέτρησης των πιο σημαντικών από τα αιωρούμενα σωματίδια των PM₁₀ και PM_{2.5} είναι αυτή της απορρόφησης της β-ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης της β-ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διέλευση της μέσα από τη σωματιδιακή ύλη που έχει συλλέγει σε ένα φίλτρο. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται αυτόματη καταγραφή των συγκεντρωμένων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Μετρώνται κυρίως οι δύο παραπάνω κατηγορίες σωματιδίων, αφού προηγουμένως με τη βοήθεια ενός κυκλώνα απομακρυνθούν τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 10 µm (Κουϊμτζή & Σαμαρά –Κωνσταντίνου, 1994).

1.3.2.3 Διοξείδιο του Θείου (SO₂).

1.3.2.3.1 Χαρακτηριστικά.

Το διοξείδιο του θείου είναι το πιο κοινό από όλα τα οξείδια του θείου τα οποία προκύπτουν από την ένωση του στοιχειακού θείου με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο ($S + O_2 \rightarrow SO_2$). Μαζί με το τριοξείδιο του θείου (SO₃) συμβάλλουν κατά 24 εκατομμύρια τόνους στην αύξηση της ρύπανσης ετησίως. Είναι ένα άχρωμο, άφλεκτο και μη εκρηκτικό αέριο με θειώδη οσμή. Είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και δύο φορές περίπου βαρύτερο από τον αέρα, με μοριακό βάρος 64. Υπολογίζεται ότι παραμένει στον αέρα από δύο έως 4 ημέρες, κατά τη διάρκεια των οποίων μπορεί να μεταφέρεται ακόμα και πέρα των 1000 χιλιομέτρων. Αυτό αιτιολογεί και το φαινόμενο μεταφοράς του ρύπου πέρα από τα σύνορα της χώρας που το εκπέμπει,

αποτελώντας έναν κατεξοχήν διασυνοριακό ρύπο. Είναι σχετικά σταθερό στην ατμόσφαιρα και δρα είτε ως αναγωγικό είτε ως οξειδωτικό μέσο αντιδρώντας φωτοχημικά ή καταλυτικά με άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας και μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό τριοξειδίου του θείου (SO_3), σταγονίδια ή άλατα θειικού οξέος (H_2SO_4), (βλέπε κεφ. 2.2.2.6), (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Οι ρυθμοί αυτών των αντιδράσεων εξαρτώνται από τη ποσότητα της υπάρχουσας υγρασίας, το ηλιακό φως, την παρουσία άλλων χημικών ενώσεων όπως υδρογονάνθρακες και διοξειδία του αζώτου (NO_2) και από την παρουσία σωματιδιακής ύλης. Γνωρίζουμε ότι σωματιδιακή ύλη της τάξης των 2 με 8 μm παραμένει διασκορπισμένη στον αέρα και είναι αυτή που παγιδεύεται εύκολα στους πνεύμονες με αποτέλεσμα, σε μερικές περιπτώσεις, να έχει το ρόλο του καταλύτη στην οξείδωση του διοξειδίου του θείου και τη μετατροπή του σε σταγόνες θειικού οξέος μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό. Σωματίδια σιδήρου, μαγγανίου και άλατα βαναδίου είναι παραδείγματα ενεργών καταλυτών σε τέτοιας φύσεως αντιδράσεις (Γεντεκάκης, 2003).

1.3.2.3.2 Προέλευση ρύπου.

Οι φυσικές πηγές κυριαρχούν στην εκπομπή του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα και καταλαμβάνουν περίπου το 80% του συνόλου. Το υπόλοιπο 20% προέρχεται κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές. Σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι οι ηφαιστειακές δράσεις, οι πυρκαγιές και οι ωκεανοί, η οξείδωση του αερίου υδρόθειου που προέρχεται από τα έλη και την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Η καύση στερεών ορυκτών καυσίμων και κυρίως άνθρακα συμμετέχει κατά περισσότερο από 80% στις ανθρωπογενείς πηγές. Η καύση άνθρακα σε σταθερές πηγές έχει τον πρώτο λόγο σε αυτή τη κατηγορία, όπως π.χ. στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (πάνω από 100 εκατομμύρια τόνοι /έτος) ακολουθούν οι διεργασίες καύσεως και διύλισης πετρελαίου (πάνω από 30 εκατομμύρια τόνοι/έτος) και οι μεταλλουργικές βιομηχανίες (πάνω από 20 εκατομμύρια τόνοι/έτος). Οι μεταφορές μετέχουν ελάχιστα στις ανθρωπογενείς εκπομπές SO_x στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο τα τελευταία χρόνια (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Ο άνθρακας συμμετέχει κατά 60% ενώ το πετρέλαιο κατά 30% στις ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα. Τα υπόλοιπα 10% αποδίδονται στις καύσεις πυριτίων, ορυκτού θείου κ.ά. Έχει υπολογισθεί ότι ποσοστό μεγαλύτερο του 90% εκπέμπεται από πηγές που βρίσκονται στο Βόρειο Ημισφαίριο (Κουιμτζή, 1997).

1.3.2.3.3 Αστικό περιβάλλον.

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα μιας περιοχής είναι και μέτρο του βαθμού ρύπανσης αυτής. Στον Ατλαντικό ωκεανό οι μετρήσεις του ρύπου δίνουν τιμές ανάμεσα σε 1 με 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ αντίθετα σε κατοικημένες περιοχές η συγκέντρωση μπορεί να φτάσει σε ακραίες περιπτώσεις και 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στα μεγάλα αστικά κέντρα οι βασικότερες πηγές του είναι τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και οι μονάδες κεντρικής θέρμανσης. Σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία παίζουν το ρόλο του καταλύτη για τη μετατροπή του σε θειικό οξύ, όπως και συγκεκριμένων κλιματικών συνθηκών (υγρασίας και

θερμοκρασιακής αναστροφής) μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα σε κατοικημένες περιοχές (Κουιμιτζή, 1997).

1.3.2.3.4 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση

Ο έλεγχος του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα γίνεται με βάση ορισμένα θεσπισμένα κριτήρια όπως και περιθώρια ασφαλείας. Βασιζόμενος σε συγκεκριμένα κριτήρια ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έθεσε ως τιμή στόχο το όριο των 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα για ένα 24ωρο και τα 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ως στόχο μέσης ετήσιας τιμής.

Στη χώρα μας ισχύουν τα νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για το ρύπο του διοξειδίου του θείου σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση την οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση 1996/62/EK και τη θυγατρική της για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα 1999/30/EK έχουν θεσπιστεί τα όρια που απεικονίζονται στο Πίνακα 1.13 (Directive 1999/30/EC).

Πίνακας 1.13 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 1999/30/EK.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία 2001 2002 2003 2004
Διοξείδιο του θείου SO_2	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Μέση ωριαία τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές ανά έτος	1/1/2005	470 440 410 380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ημερήσια τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές ανά έτος	1/1/2005	125 125 125 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του θείου μειώθηκαν σημαντικά μεταξύ 1990 και 1999. Σημαντικό ρόλο σε αυτό το γεγονός έχει το αυξημένο μερίδιο πυρηνικής και ανανεώσιμης ενέργειας όπως και η καύση του φυσικού αερίου που άρχισαν να καταλαμβάνουν σημαντικές θέσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι σημαντικές βελτιώσεις των ενεργειακών αποδόσεων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και η αποθείωση των αερολυμάτων και των καυσίμων. Έτσι, να αναμένεται ότι η Ε.Ε. και τα περισσότερα κράτη μέλη της θα πετύχουν τους στόχους τους για μείωση των συνολικών εκπομπών του ρύπου όπως ορίζεται στην οδηγία σχετικά με τα ανώτατα εθνικά όρια εκπομπών (Π.Ο.Ε., 2002).

1.3.2.3.5 Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.

Η συνήθης μέθοδος που επιλέγεται για το προσδιορισμό της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου είναι ο φθορισμομετρικός προσδιορισμός. Εκπομπή φθορισμού παρατηρείται όταν τα μόρια απορροφούν ακτινοβολία ενέργεια σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Στα αέρια το φαινόμενο του φθορισμού παρατηρείτε σε χαμηλές πιέσεις και εξαφανίζεται σε πιέσεις που προσεγγίζουν την ατμοσφαιρική. Όταν υπάρχει πηγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας και κατάλληλης έντασης ή μέθοδος μπορεί να αποτελέσει τη βάση για εκλεκτικό προσδιορισμό ιχνών αερίων, τα οποία παρουσιάζουν έντονο φθορισμό, όπως το SO₂. Οι συσκευές φθορισμομετρικού προσδιορισμού μπορούν να μετρήσουν τόσο χαμηλές (0,5-1000 ppb) όσο και υψηλές (0,5-1000 ppm) συγκεντρώσεις του ρύπου (Κουϊμτζή & Σαμαρά –Κωνσταντίνου, 1994).

1.3.2.4 Οξείδια του Αζώτου (NO_x).

1.3.2.4.1 Χαρακτηριστικά.

Τα οξείδια του αζώτου περιλαμβάνουν έξι γνωστές αέριες ενώσεις : το μονοξείδιο (NO), το διοξείδιο (NO₂), το νιτρώδες οξείδιο (N₂O), το τριοξείδιο (N₂O₃), το τετροξείδιο (N₂O₄) και το πεντοξείδιο (N₂O₅). Σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, από τα οξείδια του αζώτου θεωρούνται ως σημαντικά μόνο τα δύο πρώτα. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι αέριο άχρωμο, άγευστο και άοσμο ενώ το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) είναι ερυθροκάστανο αέριο με δριμεία οσμή. Το μονοξείδιο είναι σχετικά αδρανές αέριο και μέτρια μόνο τοξικό. Παράγεται με απευθείας αντίδραση ατμοσφαιρικού οξυγόνου και αζώτου σε υψηλή θερμοκρασία και βαθμιαία οξειδώνεται σε διοξείδιο του αζώτου. Βρίσκεται, σχετικά, σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι το διοξείδιο. Το διοξείδιο είναι δευτερογενής ρύπος της ατμόσφαιρας, βαρύτερος από τον αέρα και διαλυτό στο νερό, σχηματίζοντας το νιτρικό (HNO₃) ή το νιτρώδες (HNO₂) οξύ, είναι καλός απορροφητής της ενέργειας του υπεριώδους φωτός της ηλιακής ακτινοβολίας και συμμετέχει στην παραγωγή δευτερογενών ρυπαντών, όπως όζον (O₃), (βλέπε κεφ. 2.2.2.5). Το διοξείδιο του αζώτου είναι από τους βασικούς συντελεστές σχηματισμού φωτοχημικής αιθαλομίχλης σε πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

1.3.2.4.2 Προέλευση ρύπων.

Πηγές εκπομπής των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα υπάρχουν φυσικές και ανθρωπογενείς. Μικρές συγκεντρώσεις NO_x σχηματίζονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα από ηλιακή ακτινοβολία και φθάνουν στην κατώτερη μέσω καθοδικής διαχύσεως. Μικρά ποσά παράγονται από κεραυνούς και πυρκαγιές δασών. Βιολογικές δραστηριότητες συνεισφέρουν περίπου 500 εκατομμύρια τόνους ανά έτος σε μονοξείδιο του αζώτου, μέσω της βακτηριακής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Τα φυσικά παραγόμενα μονοξείδια είναι 10 φορές περισσότερα από τα ανθρωπογενή, τα οποία όμως συγκεντρώνονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με αποτέλεσμα να γίνονται πολύ πιο επικίνδυνα. Η καύση των καυσίμων από στατικές πηγές και μεταφορές είναι οι σημαντικότερες πηγές τους. Μια σύγκριση ανά μονάδα βάρους της παραγόμενης ποσότητας μονοξειδίων από τα πιο συνηθισμένα καύσιμα, τα

κατατάσσει με την ακόλουθη φθίνουσα σειρά δυναμικότητας παραγωγής : άνθρακας>πετρέλαιο>φυσικό αέριο. Η παραγωγή του πρωτογενούς ρύπου NO κατά την καύση ευνοείται σημαντικά από την αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα η βασικότερη ανθρωπογενής πηγή του να είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσεως, οι οποίες εργάζονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Δεν ευθύνεται η ποιότητα των καυσίμων για τη παραγωγή του αλλά η ίδια η καύση, η οποία δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες, στις οποίες αντιδρούν το άζωτο με το οξυγόνο (Γεντεκάκης, 2003).

Ο σχηματισμός του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα διέπεται από ένα πολύπλοκο μηχανισμό, τόσο ομογενούς όσο και ετερογενούς φύσεως (βλέπε κεφ.2.2.2.5). Σε πολύ μεγάλο ποσοστό σχηματίζεται από το μονοξείδιο του αζώτου, μέσα από μια σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων (Μάλλιαρος, 2000).

1.3.2.4.3. Αστικό περιβάλλον.

Τα τυπικά επίπεδα για το NO είναι περίπου 3,7-5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ για το NO₂ 7,5-9,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές οι συγκεντρώσεις μπορεί να είναι και 1000 φορές μεγαλύτερες από εκείνες που παρατηρούνται στην ύπαιθρο. Οι διακυμάνσεις τους εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, τα μετεωρολογικά φαινόμενα και τον όγκο της κυκλοφορίας οχημάτων. Πριν από την ανατολή του ηλίου παραμένουν σε σχετικά χαμηλές, σταθερές συγκεντρώσεις ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες αυξάνονται γρήγορα και το μεσημέρι το διοξείδιο του αζώτου με τα υπόλοιπα οξειδωτικά της ατμόσφαιρας φθάνουν στην κορύφωση της συγκέντρωσης τους. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου παρατηρούνται γενικά τους τελευταίους μήνες του φθινοπώρου και του χειμώνα, καθώς οι μήνες αυτοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη ζήτηση για ενέργεια θερμάνσεως, χαμηλές ταχύτητες ανέμου και μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου που υπερβαίνουν την ετήσια οριακή τιμή καταγράφονται σχεδόν αποκλειστικά σε αστικούς σταθμούς παρακολούθησης, ιδίως σε αυτούς που βρίσκονται κοντά σε δρόμους με μεγάλη κυκλοφοριακή κίνηση (Ε.Ο.Π., 2004).

1.3.2.4.4 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.

Έχουν τεθεί κανονισμοί για επεισόδια υψηλής συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου, οι οποίοι σχεδιάστηκαν να προλαβαίνουν τις συγκεντρώσεις ρυπαντών στον αέρα ώστε να μη φθάνουν σε επίπεδα που θα μπορούσαν να προξενήσουν σοβαρή βλάβη στην υγεία. Τέτοια όρια κυμαίνονται γύρω στα 1130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο μιας ώρας ή 282 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο 24ώρου – αυτά ονομάζονται όρια ετοιμότητας – 2260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο μιας ώρας ή 568 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο 24ώρου – ως κατάσταση επιφυλακής – και 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο μιας ώρας ή 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέσο όρο 24ώρου – ως κατάσταση συναγερμού (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

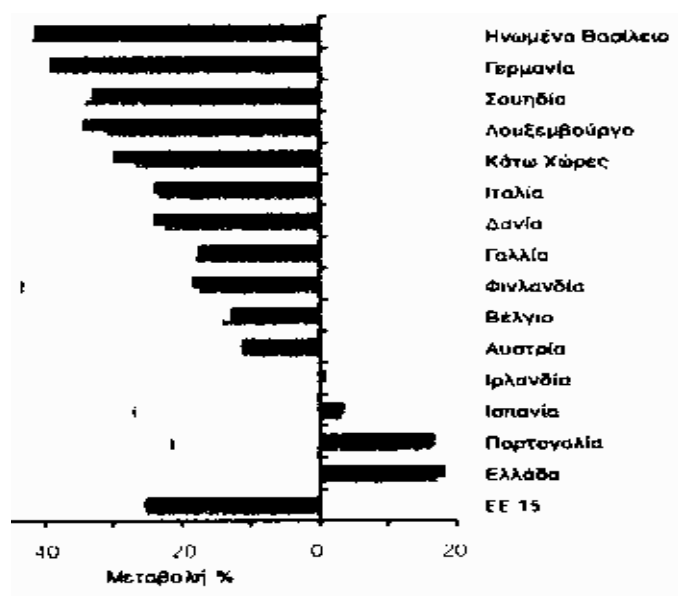
Ο Π.Ο.Υ έχει θέσει ως τιμή στόχο για την ωριαία συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου τα 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντιστοίχως τιμή στόχο για μέση ετήσια τιμή τα 40-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στην χώρα μας ισχύουν τα νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για το ρύπο του διοξειδίου του αζώτου σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση την οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση 1996/62/EK και τη θυγατρική της για τις οριακές τιμές

διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα 1999/30/EK έχουν θεσπιστεί τα όρια που απεικονίζονται στο Πίνακα 1.14 (Directive 1999/30/EC).

Πίνακας 1.14 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 1999/30/EK.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία 2001 2002 2003 2004 ...2009
Διοξείδιο του αζώτου NO ₂	200 µg/m ³ Μέση ωριαία τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά έτος	1/1/2010	290 280 270 260....210 µg/m ³
	40 µg/m ³ μέση ετήσια τιμή	1/1/2010	58 56 54 52..... 42 µg/m ³

Σε αρκετές χώρες της δυτικής Ε.Ε. μειώθηκαν οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, γεγονός που σημαίνει ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση και ορισμένα κράτη μέλη της βρίσκονται σε καλό δρόμο για την επίτευξη των στόχων ελάττωσης των συνολικών εκπομπών NO_x έως το 2010. Στο διάγραμμα 1.11 παρουσιάζονται οι μεταβολές των συνολικών εκπομπών των οξειδίων του αζώτου τη περίοδο 1990-1999, στις χώρες της Ε.Ε.



Διάγραμμα 1.11: Μεταβολή στις συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου στις χώρες της Ε.Ε. για τη περίοδο 1990-1999 (Πηγή: Ε.Ο.Π., 2002γ).

1.3.2.4.5 Μέθοδος μετρήσεως ρύπου.

Η πιο συνήθης μέθοδος προσδιορισμού της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι η χημειοφωταύγεια. Η μέθοδος έχει επικρατήσει ανάμεσα σε

άλλες οπτικές μεθόδους ως η πλέον ευαίσθητη, εκλεκτική και αξιόπιστη για το προσδιορισμό του συγκεκριμένου ρύπου. Το φαινόμενο της χημειοφωταύγειας παρατηρείται όταν μέρος της ενέργειας μιας εξώθερμης χημικής αντίδρασης εκπέμπεται με μορφή φωτός. Κατά αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η ταχεία αντίδραση μονοξειδίου του αζώτου με το όζον στην αέρια φάση, που οδηγεί σε σχηματισμό διεγερμένων μορίων διοξειδίου του αζώτου, τα οποία αποβάλλουν ενέργεια, είτε με εκπομπή φωτός, είτε με συγκρούσεις με άλλα μόρια (βλέπε 2.2.2.5). Για μια ορισμένη πίεση, η ένταση του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται μόνο από τις συγκεντρώσεις των δύο ρύπων (NO , O_3). Αν ένα από αυτά τα δύο συστατικά διατηρείται σταθερό, τότε η ένταση του εκπεμπόμενου φωτός θα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του άλλου αερίου. Με την ίδια μέθοδο μπορεί να προσδιοριστεί και η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου στον αέρα, αφού προηγουμένως μετατραπεί σε NO , μέσω οργάνων νέας τεχνολογίας καταλυτικά, με παρουσία βαναδίου (Κουϊμτζή & Σαμαρά –Κωνσταντίνου, 1994).

1.3.2.5 Όζον (O_3).

1.3.2.5.1 Χαρακτηριστικά.

Το όζον είναι αέριο βαρύτερο από τον αέρα, άχρωμο, με έντονη οσμή και οξειδωτική δράση. Αποτελεί δευτερογενή ρύπο της τροπόσφαιρας και κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους στην επιφάνεια της γης (τροπόσφαιρα) έχοντας τόσο φυσική όσο και ανθρωπογενή προέλευση. Είναι το κυριότερο φωτοχημικό οξειδωτικό αποτελώντας το 90% της συνολικής ποσότητας των οξειδωτικών ρύπων. Ρύπος είναι μόνο το όζον των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας όπου μπορεί και αναπνέει ο άνθρωπος, ενώ η παρουσία του όζοντος στη στρατόσφαιρα αποτελεί στοιχείο ζωτικής σημασίας, καθώς εμποδίζει τη δίοδο των καταστρεπτικών υπεριωδών ακτινών (Κουϊμτζή, 1997).

1.3.2.5.2 Σχηματισμός ρύπου.

Το όζον στην τροπόσφαιρα είναι αποτέλεσμα μιας αλυσίδας φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ των προδρόμων στοιχείων και ουσιών σχηματισμού του ρύπου, (ελεύθερο οξυγόνο, πτητικές οργανικές ενώσεις και οξείδια του αζώτου), υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών (βλέπε κεφ. 1.2.2.5). Κυρίως δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ημέρας φθάνοντας στη μέγιστη τιμή του τις μεσημεριανές ώρες. Επίσης μικρές συγκεντρώσεις όζοντος μπορεί να προέλθουν και με φυσικό τρόπο από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια καταιγίδων όπως και από τις πυρκαγιές (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

2.3.2.5.3 Αστικό περιβάλλον.

Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται συχνότερα στην ύπαιθρο ή στις περιφέρειες των μεγαλουπόλεων παρά σε αστικά κέντρα, διότι εκεί το ατομικό οξυγόνο (O) το οποίο είναι το κύριο συστατικό του έχει τη τάση να αντιδρά με το άφθονο μονοξείδιο του αζώτου και μετασχηματίζεται σε διοξείδιο του αζώτου. Αποτελεί σημαντικό ρύπο των αστικών περιοχών της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, ιδιαίτερα κατά τις θερινές περιόδους όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες και έντονη

ηλιοφάνεια (π.χ. ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα παρατηρήθηκαν κατά το θερινό καύσωνα στις Ευρωπαϊκές χώρες το έτος 2003) (Π.Ο.Ε., 2004).

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος σε αστικές περιοχές εμφανίζονται σημαντικά αυξημένες τη καλοκαιρινή περίοδο σε σύγκριση με τη χειμερινή περίοδο. Παρομοίως, οι επιδράσεις του ρύπου στην ανθρώπινη υγεία εμφανίζουν αυξημένες τιμές κατά τη θερινή περίοδο κάτι που οφείλεται κυρίως στη παρατεταμένη έκθεση των πολιτών στους ατμοσφαιρικούς ρύπους εξαιτίας των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών και της έντονης εναλλαγής εξωτερικού με εσωτερικού αέρα των κατοικιών τους. Η παρουσία ενός ρύπου σε μια αστική περιοχή, όπως το όζον το οποίο αποτελεί δευτερογενή τροποσφαιρικό ρύπο και σχηματίζεται μέσω φωτοχημικών διεργασιών της ατμόσφαιρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωση προδρόμων ουσιών που ευθύνονται για τη δημιουργία του. Κατά αυτόν τον τρόπο δικαιολογείτε ο συσχετισμός του με το διοξείδιο του αζώτου κατά τη θερινή το οποίο περιέχει σημαντικό μέρος της χημικής του σύστασης, το ατομικό οξυγόνο, το οποίο ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω φωτοδιάσπασης (Ballester *et al.*, 2000).

Η εκπομπή υψηλών συγκεντρώσεων πρωτογενών ρύπων στην ατμόσφαιρα, όπως το μονοξείδιο του αζώτου, σε συνδυασμό με κακές συνθήκες αερισμού και διασκορπισμού τους προκαλούν έντονο ανταγωνισμό ως τον σχηματισμό του όζοντος, καταναλώνοντας τα ελεύθερα οξυγόνα της ατμόσφαιρας και σχηματίζοντας ξανά διοξείδιο του αζώτου. Συνεπώς υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος τις ημέρες έντονης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ηλιοφάνειας εμφανίζονται στις περιφέρειες των μεγαλουπόλεων, στις οποίες υπάρχουν ή μεταφέρονται οι πρόδρομες ουσίες από τη πηγή τους και ο σχηματισμός του όζοντος έχει πού μικρότερο ανταγωνισμό σε αντίθεση με τα πυκνοκατοικημένα κέντρα. Παράλληλα όταν εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος στα αστικά κέντρα των πόλεων είναι σημάδι καλού αερισμού και διασκορπισμού των πρωτογενών ρύπων. Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη μπορούν να κατανοήσουμε γιατί εγκυμονεί κίνδυνος υποεκτίμησης των πραγματικών συγκεντρώσεων του ρύπου όταν οι σταθμοί μέτρησης του περιορίζονται στα αστικά κέντρα των πόλεων ή υπερεκτίμησης τους όταν αυτοί περιορίζονται μόνο στη περιφέρεια (Gryparis *et al.*, 2004).

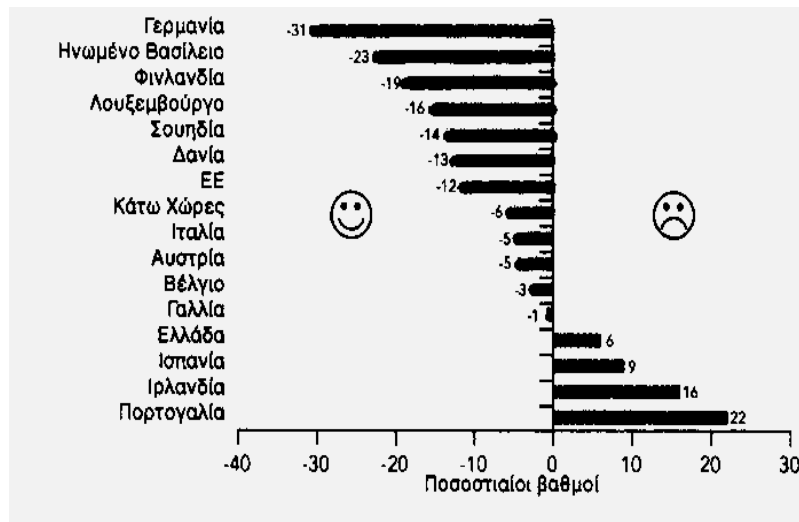
1.3.2.5.4 Πρότυπα Ποιότητας Αέρα – οδηγίες – υπάρχουσα κατάσταση.

Στην χώρα μας ισχύουν τα νομοθετημένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας για το ρύπο του όζοντος σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση την οδηγία-πλαίσιο για την ατμοσφαιρική ρύπανση 1996/62/EK και τη θυγατρική της για τις οριακές τιμές όζοντος στην ατμόσφαιρα 2002/3/EK έχουν θεσπιστεί τα όρια που απεικονίζονται στον Πίνακα 1.15 (Directive 2002/3/EC).

Πίνακας 1.15 : Όρια συγκέντρωσης ρύπου στην ατμόσφαιρα με βάση την Οδηγία 2002/3/ΕΚ.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία 2001 2002 2003 2004
Όζον (O ₃)	50 µg/m ³ Μέση οκτάωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών	1/1/2010	50 50 50 50 µg/m ³
Οριακή τιμή για τη προστασία της υγείας	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών, τα 120 µg/m ³ που δεν πρέπει να υπερβαίνονται περισσότερο από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος κατά μ.ο. σε τρία χρόνια	1/1/2010	

Μεταξύ 1990 και 2001 οι εκπομπές προδρόμων ουσιών, υπεύθυνων για τον σχηματισμό του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, παρουσίασαν μείωση κατά 30% στην ΕΕ-15 και 43% στις 10 νέες χώρες. Οι οδικές μεταφορές, οι οποίες αποτελούν τη κύρια πηγή προδρόμων του όζοντος, μέσω της εισαγωγής καταλυτών στα καινούρια οχήματα, αλλά και η χρήση διαλυτών σε βιομηχανίες και νοικοκυριά, μέσω της συμμόρφωσης τους με την κοινοτική οδηγία για τους διαλύτες, ήταν οι βασικότερες αιτίες αυτής της μείωσης. Παρά το αποτέλεσμα αυτό, υπολογίζεται ότι ένα ποσοστό έως και 30% του αστικού πληθυσμού της Ευρώπης παραμένει εκτεθειμένο σε συγκεντρώσεις όζοντος που υπερβαίνουν τα επίπεδα-στόχο για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας. Αρκετές χώρες δεν βρίσκονται σε πορεία επίτευξης των στόχων τους, με αποτέλεσμα να καθίσταται αναγκαία η σημαντική μείωση των εκπομπών σε πρόδρομες ουσίες. Το διάγραμμα 12 παρουσιάζει το αποτέλεσμα της μείωσης των προδρόμων ουσιών του όζοντος κατά την περίοδο 1990-2001 .



Διάγραμμα 1.12 : Μείωση προδρόμων ουσιών του όζοντος στις χώρες της Ε.Ε. κατά την περίοδο 1990-2001. (Πηγή: Ε.Ο.Π., 2002γ).

1.4. Χαρακτηριστικά της πόλης των Αθηνών.

1.4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία 20 χρόνια υπάρχει μια αυξητική τάση πληροφόρησης και ευαισθητοποίησης των κατοίκων μεγάλων αστικών κέντρων σχετικά με θέματα ατμοσφαιρικών ρύπων, αύξησης των συγκεντρώσεων τους και επίδρασης στην υγεία. Μελέτες ασχολούνται εντατικά με την προέλευση, τη φύση, τη συχνότητα και τη διάρκεια της παρουσίας στην ατμόσφαιρα των μεγαλουπόλεων ατμοσφαιρικών ρύπων που συνθέτουν φωτοχημικά νέφη. Τέτοιοι μπορεί να είναι πρωτογενείς ρύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), ή δευτερογενείς όπως το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το όζον (O₃) (Boucher, 1990,1991).

Τις τελευταίες δεκαετίες η πόλη της Αθήνας έχει ταλαιπωρηθεί από προβλήματα ποιότητας του ατμοσφαιρικού της αέρα, εξαιτίας της έντονης αστικοποίησης της, της αύξησης της βιομηχανοποίησης των προαστίων της, της έλλειψης πρασίνου και ελεύθερου χώρου, της σημαντικής της αύξησης κυκλοφορίας οχημάτων και κατανάλωσης καυσίμων, σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της πόλης, τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στις Μεσογειακές χώρες και το αστικό τοποκλίμα και μικροκλίμα που δημιουργείται (Kassomenos *et al.*, 1994).

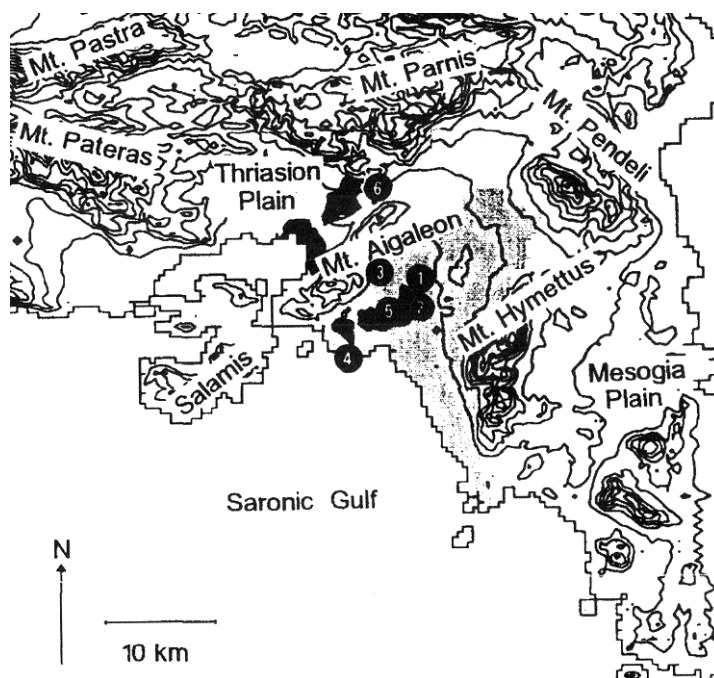
1.4.2. Χαρακτηριστικά.

1.4.2.1. Γεωγραφική θέση – τοπογραφία – φωτοχημικό νέφος.

Η πόλη της Αθήνας βρίσκεται μέσα στο κέντρο του λεκανοπεδίου της Αττικής σε Γεωγραφικό μήκος : 37° 58' βόρεια και Γεωγραφικό πλάτος : 23° 46' ανατολικά, έχοντας παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά με την πόλη του Λος Άντζελες στην

οποία καταγράφηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του '70 το φαινόμενο του φωτοχημικού νέφους. Έχει πληθυσμό άνω των 4 εκατομμυρίων κατοίκων, οι οποίοι είναι συγκεντρωμένοι μέσα σε 450 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το λεκανοπέδιο της πόλης περικλείεται από τρία κύρια βουνά, τον Υμηττό (1050μ) και την Πεντέλη (1100μ) με προσανατολισμό βόρεια – βορειοανατολικά και την Πάρνηθα (1400μ) στα βόρεια -βορειοδυτικά. Στα δυτικά η πόλη περικλείεται από ένα μικρότερο βουνό, το όρος Αιγάλεω (450μ) και από το νότο περιβάλλεται από θάλασσα, το Σαρωνικό κόλπο. Διάσπαρτοι λόφοι, ανομοιόμορφοι μεταξύ τους και με συνήθη προσανατολισμό από το βορά προς νότο παρεμβάλλονται μέσα στο λεκανοπέδιο της πόλης, όπως τα Τουρκοβούνια, ο Λυκαβηττός, η Πνύκα με υψόμετρο γύρω στα 200 μέτρα και συμβάλλουν και αυτοί στο γεωγραφικό ανάγλυφο της πόλης (Kassomenos *et al.*, 1994).

Στην εικόνα 1.1 απεικονίζεται το λεκανοπέδιο της Αττικής με την πόλη της Αθήνας και τα σημαντικότερα βουνά που το περιβάλλουν :



Εικόνα 1.1 : Το λεκανοπέδιο της Αττικής με την πόλη της Αθήνας και τα σημαντικότερα βουνά που την περιβάλλουν καθώς και οι σημαντικότεροι σταθμοί μετρήσεως της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πηγή: Moussiopoulos *et al.*, 1995).

Η κλειστή αυτή τοπογραφία του λεκανοπέδιου της Αθήνας, δυσχεραίνει σημαντικά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, τον αερισμό και τη διάχυση των ρύπων με αποτέλεσμα οι ορεινοί όγκοι να λειτουργούν ως ένα τεράστιο θερμοκήπιο συγκρατώντας τους ρύπους εντός του (Kassomenos, 1993).

Το σύγχρονο Αθηναϊκό νέφος ξεπερνάει τα όρια του αστικού κέντρου, καταλαμβάνει όλη τη πόλη και εγκαθίσταται με χαρακτηριστική άνεση στα προάστια της. Κατ' αυτόν τον τρόπο ενώ το παλιότερο νέφος εμφανιζόταν κυρίως στο κέντρο της πόλης και σε ορισμένες βιομηχανικές περιοχές, σήμερα παρατηρείται μια γεωγραφική επέκταση. Το φωτοχημικό νέφος της εποχής μας χαρακτηρίζεται ως νέφος της

ευημερίας, καθώς πλήττει και ορισμένες περιοχές, όπως τα βόρεια προάστια της πόλης, που κάποτε αποτελούσαν τόπους διαφυγής από τη ρύπανση (Πετράκης, 2004).

1.4.2.2 Κυκλοφοριακό (οδικό δίκτυο – μεταφορικά μέσα).

Σημαντική ευθύνη για την ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας έχει το ανεπαρκές οδικό δίκτυο της πόλης που προκαλεί αύξηση των κυκλοφοριακών προβλημάτων και των εκπομπών από τα οχήματα που το χρησιμοποιούν. Το κεντρικό οδικό δίκτυο προς το αστικό κέντρο της πόλης περιορίζεται σε κάποιες λεωφόρους γύρω από δύο γειτονικές πλατείες, το Σύνταγμα και την Ομόνοια, δίνοντας ελάχιστες εναλλακτικές λύσεις στους οδηγούς κατά τη χρήση του. Στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο της πόλης επικρατεί κακή ρυμοτομία με στενούς δρόμους και σημαντικές ελλείψεις χώρων στάθμευσης με αποτέλεσμα την αύξηση των παράνομων σταθμεύσεων (Kassomenos, 1993).

Νέοι δρόμοι, οι οποίοι κατασκευάστηκαν τα τελευταία χρόνια στην Αθήνα και στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, έχουν σε μεμονωμένες περιοχές ανακουφίσει το οδικό δίκτυο, μεταφέροντας όμως τα προβλήματα σε κάποιες άλλες όπως αυτές που βρίσκονται στις εισόδους του περιφερειακού αυτοκινητοδρόμου της Αττικής οδού. Τα ιδιωτικής χρήσεως οχήματα έχουν ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό σε σχέση με τον πληθυσμό της πόλης, αγγίζοντας τα Ευρωπαϊκά δεδομένα. Ο συνολικός αριθμός οχημάτων υπερβαίνει τα 2 εκατομμύρια, με 7% αύξηση κάθε χρόνο και πάνω από 50% αυτών βρίσκονται διαρκώς τις ώρες αιχμής (06:00-21:00) στη κυκλοφορία (Chaloulakou *et al.*, 2005).

Στην Αθήνα σήμερα αναλογούν 400 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους και από τις συνολικές καθημερινές μετακινήσεις της πόλης το 38,4% γίνεται με ιδιωτικά αυτοκίνητα. Κάνοντας χρήση ενός ιδιωτικού αυτοκινήτου ως μεταφορικό μέσο, ένα μεταφερόμενο πρόσωπο καταλαμβάνει 20-40 φορές περισσότερο χώρο στον δρόμο σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, καταλαμβάνοντας 25-40 τετραγωνικά μέτρα οδοστρώματος ανά επιβάτη ενώ για παράδειγμα στο λεωφορείο θα καταλάμβανε μόνο 2μ. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας ανά επιβάτη είναι 7 με 10 φορές περισσότερη από τα μέσα μαζικών μεταφορών, ενώ αντίστοιχη είναι η παραγωγή καυσαερίων, με αποτέλεσμα το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη να προέρχεται από ιδιωτικά οχήματα. Ενώ οι παρεχόμενες υπηρεσίες από τα μέσα μαζικής μεταφοράς έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια (λεωφορεία, τρόλεϊ, ηλεκτρικός σιδηρόδρομος, τραμ, μετρό, προαστιακός) το κυκλοφοριακό πρόβλημα της πρωτεύουσας παραμένει εξαιτίας της λανθασμένης νοοτροπίας του Έλληνα πολίτη ο οποίος εμμένει στην προτίμηση χρήσης ιδιωτικών μεταφορικών μέσων. Σε αυτή την παράμετρο συνεισφέρει σημαντικά και η έλλειψη περιφερειακών γραμμών στα Μ.Μ.Μ που να συνδέουν περιφερειακές συνοικίες της Αθήνας μεταξύ τους χωρίς την αναγκαστική διάβαση από το κέντρο της πόλης (διαδημοτικές συγκοινωνίες). Η παράνομη στάθμευση είναι επίσης ικανή να μειώσει τη μεταφορική ικανότητα των δρόμων στα 2/3 με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικές καθυστερήσεις στους χρόνους διέλευσης των μέσων μαζικής μεταφοράς τους (Σαρηγιάννης, 2003).

1.4.2.3 Πολεοδομία - ελεύθεροι χώροι – αστικοποίηση.

Στην πολεοδομική διάρθρωση του αστικού κέντρου της Αθήνας επικρατούν συμμετρικές πολυκατοικίες επτά ορόφων, οι οποίες καταλαμβάνουν περίπου 20 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους δημιουργώντας το δικό τους μικροκλίμα μέσα στην πόλη. Ο προσανατολισμός των δρόμων διευκολύνει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στα χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα με αποτέλεσμα την εύκολη μετατροπή των πρωτογενών ρύπων σε δευτερογενή. Η αστική αυτή δομή ευνοεί τη σημαντική συσσώρευση ρύπων ανάμεσα σε οδικές αρτηρίες και σε κατοικίες ή σε κτίρια γραφείων για ορισμένες ώρες της ημέρας.

Υπάρχουν λίγοι σημαντικοί ελεύθεροι φυσικοί χώροι μέσα στην αστική δομή της πόλης. Ο πρώτος βρίσκεται δυτικά από το κέντρο της πόλης και περιλαμβάνει τη Γεωπονική Σχολή και την περιοχή του Βοτανικού οι οποίοι όμως περιβάλλονται από τις έντονες βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής. Στα νοτιοανατολικά του κέντρου βρίσκεται το Ζάππειο, η Ακρόπολη και ο λόφος Φίλοπάππου, τα οποία αποτελούν σημαντικές περιοχές αστικού πρασίνου. Ο Λόφος του Λυκαβηττού και το Πεδίο του Άρεως στα βόρεια της πόλης και οι πρόποδες του Υμηττού συμπληρώνουν τη πηγές καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα που βρίσκονται μέσα στη πόλη. Όμως δεν είναι αρκετές για να την τροφοδοτήσουν με τις απαραίτητες ποσότητες, με αποτέλεσμα να συναντάμε σημαντικές αποκλίσεις στην περιεκτικότητα του αέρα σε ατμοσφαιρικούς ρύπους ανάμεσα στις κατοικημένες περιοχές και τους ελεύθερους φυσικούς χώρους (Boucher, 1994).

Η ανεξέλεγκτη πληθυσμιακή ανάπτυξη της πόλης τις τελευταίες δεκαετίες, με τις ξαφνικές μεταβολές των συντελεστών δόμησης σε ορισμένες περιοχές, προκάλεσε τη διάχυση της προς τα προάστια γεννώντας εκεί «μικρές πόλεις της Αθήνας». Μαζί με τη διαμόρφωση μεγάλων συγκοινωνιακών αξόνων άρχισε να επιβαρύνεται η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στις συγκεκριμένες περιοχές αλλά και να αποφράσσονται οι δίοδοι εξαερισμού ολόκληρου του λεκανοπεδίου. Ειδικά μετά τη δημιουργία του αεροδρομίου των Σπάτων και τη πολεοδομική ανάπτυξη που παρουσιάζει η ευρύτερη περιοχή, τείνει να σφραγιστεί το ανατολικό «παράθυρο» της πόλης (Πετράκης, 2004).

Οι αστικοί οικισμοί στην Ε.Ε. αυξάνονται σταθερά – με τις πόλεις να εξακολουθούν να επεκτείνονται, προκαλώντας πιέσεις στις χρήσεις γης και κοινωνικές ανισότητες. Στα επόμενα 15 χρόνια ο μέσος πληθυσμός που ζει σε αστικούς οικισμούς στην Ε.Ε. θα αυξηθεί κατά περισσότερο από 4%. Η αστική επέκταση στις περισσότερες μεγάλες Ευρωπαϊκές πόλεις επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις τρέχουσες καταναλωτικές τάσεις οι οποίες αυξάνονται πολύ πιο γρήγορα από το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (Α.Ε.Π.). Η αστική επέκταση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οδικής κυκλοφορίας μέσω της ζήτησης για μεταφορά επιβατών (αναμένεται να αυξηθεί κατά 40% έως το 2010 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990) και μέσω της αύξησης των ιδιωτικών οχημάτων (αναμένεται αύξηση κατά 25% της ιδιοκτησίας μέχρι το 2010 σε σχέση με το 1990), (Ε.Ο.Π., 1999).

1.4.2.4 Επίδραση τοπικών κλιματικών παραμέτρων και μετεωρολογικών συνθηκών.

Μέσα από μια σειρά μελετών έχει διαπιστωθεί ότι σοβαρά επεισόδια ρύπανσης έχουν εμφανισθεί σε όλες τις εποχές του χρόνου στην πόλη της Αθήνας και σχετίζονται με συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες όπως και συγκεκριμένα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Μόνο τη δεκαετία 1980-1990 συνέβηκαν πάνω από 80 επεισόδια ρύπανσης με διάρκεια από 2 έως 7 ημέρες, τα οποία έδειξαν ιδιαίτερη προτίμηση στην εποχή του χειμώνα και κάποια μικρή προτίμηση στις μεταβατικές εποχές του χρόνου, την άνοιξη και το φθινόπωρο. Οι επικρατέστεροι μήνες για αυτά τα επεισόδια ήταν ο Δεκέμβριος, ο Οκτώβριος και ο Απρίλιος (Kallos *et al.*, 1994).

Συγκεκριμένα υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου (SO_2) συσχετίστηκαν με μικρές ταχύτητες ανέμου, αυξημένη υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα όπως και αυξημένη υγρασία και ασθενείς ανέμους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Lalas *et al.*, 1982). Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος (O_3) και διοξειδίου του αζώτου (NO_2), συσχετίζονται με αυξημένα ποσοστά σχετικής υγρασίας, υψηλής θερμοκρασίας και ασθενών ανέμων, την ίδια και τη προηγούμενη μέρα (Lalas, 1985). Η ανάπτυξη τοπικών συστημάτων κυκλοφορίας με αέριες μάζες θαλάσσιας αύρας είναι ένας από τους καθοριστικότερους παράγοντες εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων στη πόλη της Αθήνας και στις ευρύτερες περιοχές της (Asimakopoulos *et al.*, 1992). Ακαθόριστες χρονικά θερμοκρασιακές αναστροφές στα χαμηλότερα τμήματα της τροπόσφαιρας συσχετίζονται άμεσα με υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων κατά τη χειμερινή περίοδο και κυρίως οφείλονται σε κάποια παρατεταμένη στασιμότητα συνθηκών ενός αντικυκλώνα (Katsoulis, 1988a).

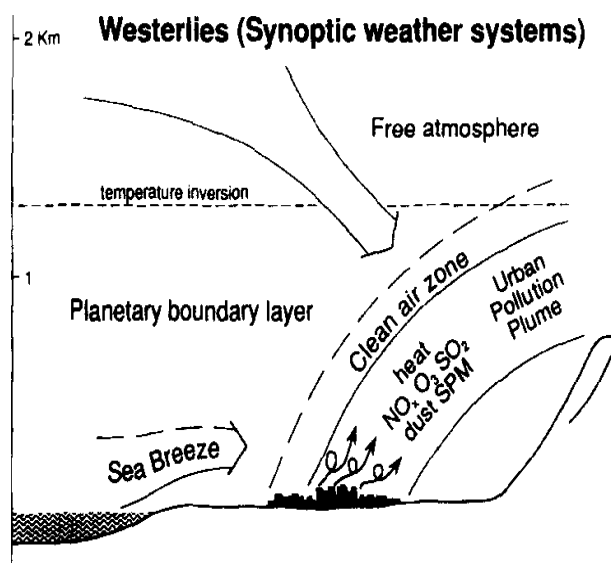
Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα επηρεάζεται σημαντικά από τις μετεωρολογικές συνθήκες και ειδικά αυτές που ευνοούν το σχηματισμό τοπικών συστημάτων κυκλοφορίας των αέριων μαζών, φαινόμενα ιδιαίτερα σημαντικά που επηρεάζουν αρνητικά τη μεταφορά και τη διασπορά των ρύπων μετά την εκπομπή τους. Το κλίμα της Αθήνας και της ευρύτερης περιοχής της είναι Μεσογειακό και οποίο χαρακτηρίζεται από ζεστά και άνυδρα καλοκαίρια, με μέση θερμοκρασία τους 27°C όπως και βροχερούς και ήπιους χειμώνες, με μέση θερμοκρασία τους 9°C . Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ημέρες με μικρές διασπορές των ρύπων συνήθως συνοδεύονται από την ανάπτυξη συστημάτων υψηλών πιέσεων πάνω από την κεντρική Μεσόγειο, ή από την ανάπτυξη ενός θερμού μετώπου στα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας σε συνθήκες χαμηλής πίεσης. Αντίθετα συνθήκες καλού διασκορπισμού των ρύπων στο λεκανοπέδιο της Αττικής απαντώνται μετά το πέρασμα ενός κρύου μετώπου και το σχηματισμό ενός υψηλού βαρομετρικού πάνω από το Αιγαίο ή ενός χαμηλού πάνω από την Κύπρο (Kallos *et al.*, 1992).

Την καλοκαιρινή περίοδο οι συνθήκες διασκορπισμού των ρύπων στο λεκανοπέδιο της Αττικής εξαρτώνται από την ένταση των υψηλών πιέσεων που επικρατούν στην Ανατολική Μεσόγειο και στην περιοχή των Βαλκανίων, σε σύγκριση με το αντίστοιχο θερμό χαμηλό μέτωπο πάνω από τα οροπέδια της Ανατολίας. Όταν η πίεση είναι χαμηλή παρατηρείται απουσία συνοπτικής ροής ανέμου από τα βόρεια με αποτέλεσμα το σχηματισμό τοπικού συστήματος κυκλοφορίας, γεγονός που ευνοεί τον χαμηλό διασκορπισμό των ρύπων και ιδιαίτερα συσσωρευση δευτερογενών φωτοχημικών ρύπων στην περιφέρεια του λεκανοπεδίου. Αντίθετα όταν έχουμε στο μέτωπο αυτό υψηλότερες πιέσεις, τότε επικρατούν βορινοί άνεμοι, ισχυρότεροι κατά

τη διάρκεια της ημέρας, συμβάλλοντας καθοριστικά στη διάχυση των ρύπων (Kassomenos *et al.*, 1994).

Η ανάπτυξη ενός τοπικού συστήματος κυκλοφορίας αερίων μαζών, οι οποίες μπορεί και να προέρχονται από τη θάλασσα αύρα, εμφανίζεται σε ποσοστό περισσότερο από το 30% του συνόλου των ημερών της περιόδου της άνοιξης και του καλοκαιριού. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την παρουσία φωτοχημικής ρύπανσης στην Αθήνα. Η παρουσία θαλάσσιας αύρας πάνω από την ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου μπορεί να προέλθει από τρεις πηγές (βλέπε εικόνα 1). Από τον Σαρωνικό κόλπο με νοτιοδυτική προς νότια κατεύθυνση επιφανειακών ανέμων κατά τη διάρκεια της ημέρας και βόρεια τη νύχτα, από την πεδιάδα των Μεσογείων με βορειοανατολική προς ανατολική και νοτιοανατολική κατεύθυνση επιφανειακών ανέμων την ημέρα και δυτική βορειοδυτική τη νύχτα και από το Θριάσιο πεδίο με δυτικούς επιφανειακούς ανέμους την ημέρα και βόρειους τη νύχτα (Steyn *et al.*, 1992).

Η παρουσία της θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με την απουσία συνοπτικής ροής ή παρουσία ασθενών ανέμων δεν είναι φαινόμενο μόνο της καλοκαιρινής περιόδου αλλά και της χειμερινής, όταν επικρατούν σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες και συστήματα κυκλοφορίας αερίων μαζών μπορεί να προέλθουν από τη θάλασσα αύρα της Αττικής, εάν το επιτρέπουν οι θερμοκρασίες ή από απομακρυσμένες περιφερειακές πηγές. Στο διάγραμμα 1.13 απεικονίζονται κάποιοι σημαντικοί φυσικοί παράγοντες που ευνοούν τη συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων στην Αθήνα.



Διάγραμμα 1.13 : Θαλάσσια αύρα, συνοπτικοί άνεμοι και φυσιογραφικοί παράγοντες σχηματισμού υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων στη πόλη της Αθήνας (Πηγή: Kassomenos *et al.*, 1994).

Οι σημαντικότεροι συνοπτικοί τύποι ανέμων, υπεύθυνοι διαμόρφωσης τοπικών καιρικών συνθηκών στην πόλη της Αθήνας, είναι ο ανοιχτός κυκλώνας (OC) ο οποίος είναι νοτιοδυτικός, ψυχρός και άνυδρος, η νοτιοδυτική ροή ανέμου (SW) η οποία είναι ζεστή, υγρή, προερχόμενη από τη θάλασσα, η βορειοδυτική ροή ανέμου (NW) η οποία περιλαμβάνει ψυχρούς ανέμους κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο όπως και

χαμηλά ποσοστά υγρασίας, ο ζωνοειδής ροής άνεμος (ZN) ο οποίος είναι ασθενής δυτικός ή νοτιοδυτικός, ο κλειστός κυκλώνας (CC) ο οποίος είναι δυνατός άνυδρος προερχόμενος από τον βορά, ο ανοιχτός αντικυκλώνας (OA) ο οποίος είναι ασθενής με διάρκεια, μετριασμένα επίπεδα υγρασίας και αυξημένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ο κλειστός αντικυκλώνας (CA) ο οποίος είναι ασθενής με αυξημένα ποσοστά υγρασίας και θερμοκρασίας και ένας συνδυασμός χαμηλού και υψηλού βαρομετρικού συστήματος ατμοσφαιρικής πίεσης (HL), με μετριασμένους βόρειους ή βορειοανατολικούς άνυδρους ανέμους (Kassomenos *et al.*, 2001).

Τα σοβαρότερα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Αθήνας έχουν συμβεί κάτω από σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες την περίοδο του χειμώνα και του φθινοπώρου. Ασθενείς ή χαμηλής εντάσεως άνεμοι καταφέρνουν να διεισδύσουν στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα στρώμα πολύ λεπτού πάχους, του οποίου δεν διευκολύνεται ο αερισμός. Παράλληλα δημιουργείται θερμοκρασιακή αναστροφή, η οποία δημιουργεί ένα ατμοσφαιρικό στρώμα στασιμότητας όπου παύει κάθε κίνηση ανανέωσης του αέρα και μόλις εισέλθουν οι θερμές μάζες των ρύπων ανέρχονται για λίγο, ψύχονται, συναντούν στρώματα θερμότερα και σταματά η ανοδική τους πορεία. Η θερμοκρασιακή αναστροφή στο λεκανοπέδιο της Αττικής μπορεί να προέλθει είτε από επί τόπου κάθετες μεταφορές ζεστών αέριων μαζών ή από μεγαλύτερης κλίμακας μεταφοράς που μπορεί να προέρχονται από την παρουσία ενός αντικυκλώνα κάπου στην περιοχή της Μεσογείου (Kassomenos *et al.*, 1994).

1.4.2.5 Σταθερές - κινητές πηγές της πόλης.

Στη πόλη της Αθήνας και στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής έχει εγκατασταθεί περίπου το 40% του πληθυσμού και των σταθερών πηγών ολόκληρης της χώρας όπως και το 50% των καταγεγραμμένων οχημάτων που έχουν κυκλοφορούν στην Ελλάδα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ελλιπές οδικό δίκτυο της πόλης την κακή συντήρηση των καυστήρων, την ιδιόρρυθμη φυσιογραφία της περιοχής και τους κλιματικούς παράγοντες συντελούν στο μεγάλο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής (Kassomenos *et al.*, 1994).

1.4.2.5.1 Κινητές πηγές.

Στο τέλος του 2001, τα κυκλοφορούντα οχήματα στην Ελλάδα έφτασαν τις 5,168,148 μονάδες (εκτός των ταξί και των μοτοσικλετών μικρού κυβισμού), έχοντας στις 31 Δεκεμβρίου του συγκεκριμένου έτους για κάθε κατηγορία την κατανομή που εμφανίζεται στον πίνακα 1.16 (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

Πίνακας 1.16 : Στόλος κυκλοφορούντων οχημάτων σε Ελλάδα και Αθήνα και ετήσιο ποσοστό μεταβολής για το 2001.

ΣΤΟΛΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΟΥΝΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ			
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΑΥΣΙΜΟ	ΑΤΤΙΚΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
Επιβατικά αυτοκίνητα	Βενζίνη	1,822,147	3,415,196
Συμβατικά	Βενζίνη	714,311	1,285,367
Καταλυτικά	Αμόλυβδη βενζίνη	1,107,836	2,129,829
% Μεταβολής από το έτος 2000		7,70%	8,20%
Ελαφρά φορτηγά	Βενζίνη / Πετρέλαιο	177,057	802,299
% Μεταβολής από το έτος 2000		2,30%	0,06%
Βαρέα φορτηγά	Πετρέλαιο	50,901	244,640
% Μεταβολής από το έτος 2000		2,30%	2%
Λεωφορεία	Πετρέλαιο	6,944	29,913
% Μεταβολής από το έτος 2000		3,90%	6,70%
ΣΥΝΟΛΟ		2,057,049	4,492,048
% Μεταβολής από το έτος 2000		7,20%	6,20%
Μοτοσικλέτες (άνω των 50cc)	Βενζίνη / Αμόλυβδη	282,109	676,100
% Μεταβολής από το έτος 2000		5,90%	6,27%
ΣΥΝΟΛΟ		2,399,158	5,168,148
% Μεταβολής από το έτος 2000			
Ταξί	Πετρέλαιο		33,560
Μοτοσικλέτες (<= 50cc)	Βενζίνη / Αμόλυβδη		372,000

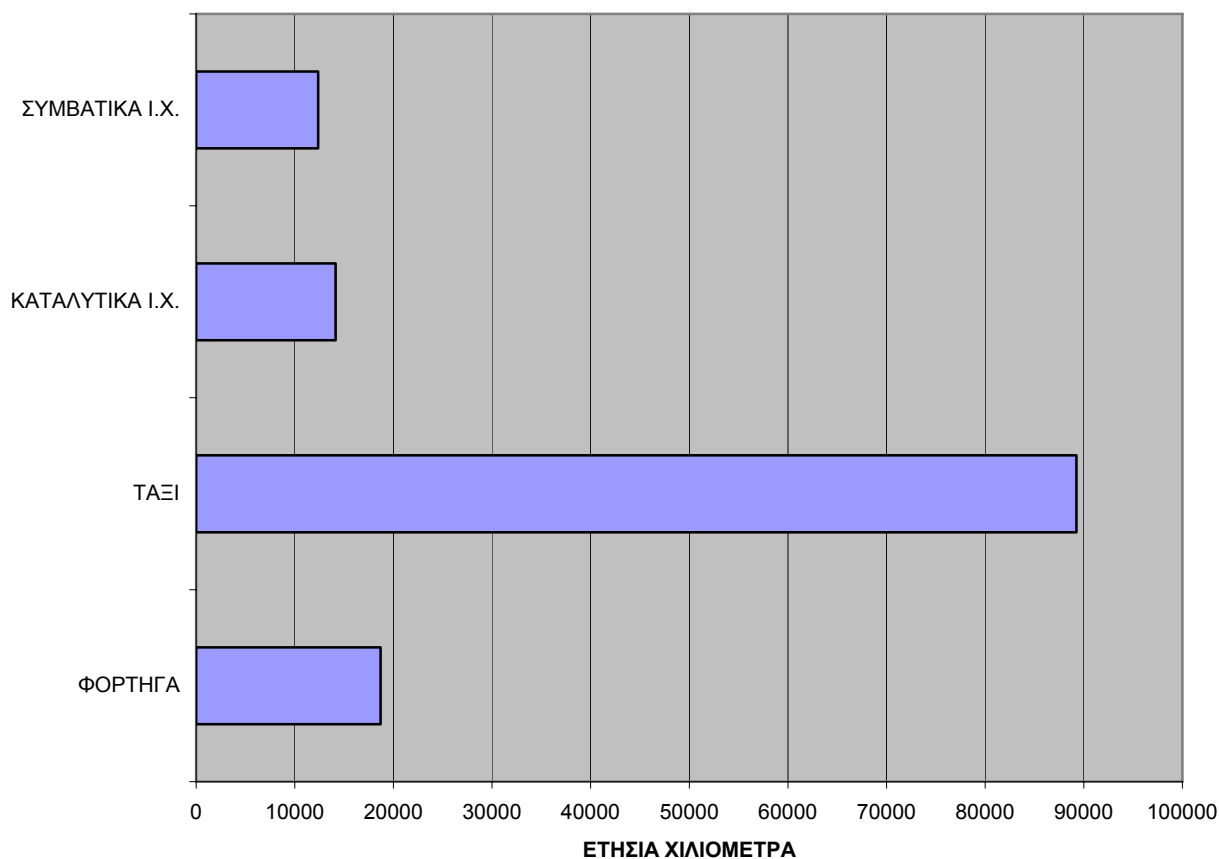
Η συνεχής αύξηση του στόλου των οχημάτων έχει αρνητικότερες συνέπειες για τις αστικές περιοχές αφού αφενός επιβαρύνει το κυκλοφοριακό πρόβλημα και αφετέρου την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ιδιαίτερα στην πόλη της Αθήνας η αναλογία κατοίκων – επιβατικών αυτοκινήτων, έχει φτάσει στο επίπεδο του 2,07 προς 1, αναλογία που είναι ίση με το μέσο όρο ολόκληρης της Ε.Ε. Αυτό σημαίνει ότι η Αθήνα τείνει να γίνει από τις πιο πυκνές σε αυτοκίνητα πόλεις της Ευρώπης, γεγονός που χωρίς την απαιτούμενη κυκλοφοριακή υποδομή, οδηγεί στην συνεχή επιδείνωση της κατάστασης της.

Ο μέσος όρος ηλικίας του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων έφτασε, στο τέλος του 2001, να είναι 11 χρόνια, έναντι του αντίστοιχου αριθμού που για το σύνολο της Ε.Ε. είναι 7 χρόνια. Η γενικότερη εικόνα των καταλυτικών ιδιωτικής χρήσης οχημάτων είναι καλή, με τις περισσότερες αστοχίες στο σύστημα εκπομπής καυσαερίων να περιορίζονται σε προβλήματα με τους αισθητήρες (λ) και την απενεργοποίηση των καταλυτών. Ο στόλος των καταλυτικών αυτοκινήτων καλύπτει σήμερα το 62,4% του συνόλου των κυκλοφορούντων επιβατικών αυτοκινήτων κάτι

που σημαίνει ότι κυκλοφορούν ακόμη 1,285,000 συμβατικά ιδιωτικής χρήσεως αυτοκίνητα, τα οποία ρυπαίνουν το περιβάλλον σε πολλαπλάσιο βαθμό από τα καταλυτικά. Σε αυτό συμβάλει η ποιότητα του καυσίμου (βενζίνη-αμόλυβδη), η μεγάλη ηλικία τους, η κακή τους συντήρηση, η αποσπασματική εφαρμογή του θεσμού της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων (ΚΕΚ) και των Κέντρων Τεχνολογικού Ελέγχου Οχημάτων (ΚΤΕΟ), όπως και η ελλιπής ενημέρωση των οδηγών. Το ποσοστό των συμβατικών οχημάτων που κυκλοφορούν ακόμη στη χώρα μας (37,6%) είναι το μεγαλύτερο στις χώρες της Ε.Ε.

Τα πετρελαιοκίνητα ταξί είναι η πλέον προβληματική κατηγορία οχημάτων ως προς τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, κάτι που συμβαίνει ακόμα και στα μικρής σχετικά ηλικίας οχήματα, γιατί η τεχνολογία των πετρελαιοκίνητων ως προς τις εκπομπές τους είναι ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης. Το ποσοστό στο σύνολο των κυκλοφορούντων οχημάτων είναι μικρό όμως στο σύνολο των ετήσιων εκπομπών καπνού και αιωρούμενων σωματιδίων η συμμετοχή των ταξί είναι αρκετά υψηλή εξαιτίας του μεγάλου αριθμού χιλιομέτρων που διανύουν ετησίως. Πρόβλημα αυξημένων εκπομπών υδρογονανθράκων εμφανίζει η κατηγορία των υγραεριοκίνητων ταξί, εξαιτίας της πτητικότητας του καυσίμου τους, με συνέπεια την απώλεια ενός σημαντικού ποσοστού του στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου που εμφανίζει η συγκεκριμένη κατηγορία, αυξάνουν αντί να μειώνουν τη φωτοχημική δραστηριότητα των καυσαερίων τους (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφοροποίηση του αριθμού των διανυόμενων ετησίως χιλιομέτρων στις διάφορες κατηγορίες οχημάτων. Το στοιχείο αυτό αποτελεί βασικό κριτήριο στο σχεδιασμό πολιτικών αντιμετώπισης των καυσαερίων των οχημάτων, γνωρίζοντας ότι μόνο κατά αυτόν τον τρόπο καλύπτεται το κριτήριο της αειφορίας. Το διάγραμμα 1.14 απεικονίζει τον αριθμό των διανυόμενων χιλιομέτρων ετησίως, για τις κυριότερες κατηγορίες οχημάτων.



Διάγραμμα 1.14 : Αριθμός διανομμένων χιλιομέτρων ετησίως για διάφορες κατηγορίες οχημάτων (Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

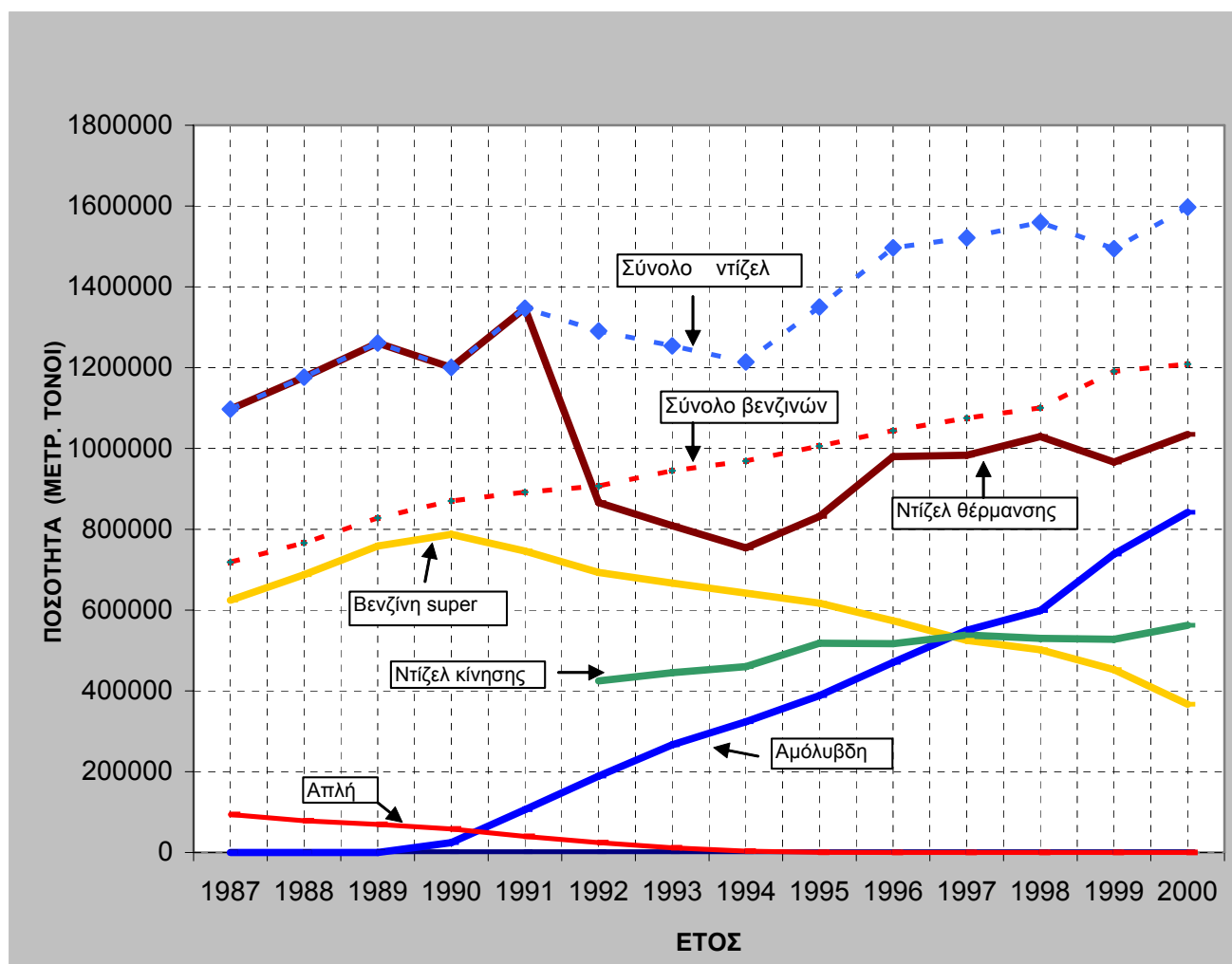
Με βάση το πρόγραμμα COPERT-2 της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι το όφελος από την απόσυρση των παλαιών οχημάτων τα έτη 1991 και 1992 όπως και τη βελτίωση των προδιαγραφών κάποιων καυσίμων έχει χαθεί λόγω της σημαντικής αύξησης του μεγέθους του στόλου. Από το 1990 σε όλους τους βασικούς ρύπους εμφανίζεται αύξηση των ετήσιων εκπομπών. Στον πίνακα 1.17 εμφανίζονται οι διαφοροποιήσεις των εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων (ιδιωτικής χρήσεως αυτοκίνητα και ελαφριά φορτηγά) σε επίπεδο χώρας για τη δεκαετία του '90.

Πίνακας 1.17 : Εκπομπές καυσαερίων οχημάτων σε επίπεδο χώρας.

Ρύποι	Μεταβολή 1990-2000(%)
CO (μονοξείδιο του άνθρακα)	1,9
NO _x (οξείδια του αζώτου)	16,8
NM VOC (οργανικές, μη υδρογονάνθρακες)	3,1
CH ₄ (μεθάνιο)	34,9
N ₂ O (υποξείδιο του αζώτου)	208,0
NH ₃ (αμμωνία)	1434,6
PM (αιωρούμενα σωματίδια)	33,2
CO ₂ (διοξείδιο του άνθρακα)	51,6
SO ₂ (διοξείδιο του θείου)	51,5
Pb (μόλυβδος)	-5,5
Cd (κάδμιο)	52,1
Cu (χαλκός)	52,4
Cr (χρώμιο)	52,3
Ni (νικέλιο)	52,4
Se (σελήνιο)	52,1
Zn (ψευδάργυρος)	52,4

Στον παραπάνω πίνακα διακρίνουμε, πέρα από τη σταθερή ποσοστιαία αύξηση των περισσότερων ρύπων, κάποιους νέους ρύπους (NH₃, N₂O), οι οποίοι οφείλονται κυρίως στα καταλυτικά οχήματα, χωρίς όμως αυτά να είναι και οι αποκλειστικές πηγές τους στις αστικές περιοχές.

Μεγάλο ενδιαφέρον για τις κινητές πηγές ρύπανσης στο Νομό Αττικής έχει η διαχρονική εξέλιξη των κυριότερων καυσίμων για τη χρονική περίοδο 1987-2000 που εμφανίζεται στο διάγραμμα 1.15. Χαρακτηριστικά φαίνεται η σημαντική αύξηση της κατανάλωσης όλων των καυσίμων η οποία οφείλεται στην αντίστοιχη αύξηση του αριθμού των οχημάτων.



Διάγραμμα 1.15 : Διαχρονική εξέλιξη καυσίμων στο Νομό Αττικής (Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

1.4.2.5.2 Νοθεία καυσίμων.

Σημαντικός παράγοντας στη αυξημένη ρύπανση μιας μεγαλούπολης είναι η νοθεία στα καύσιμα των κινητών πηγών ρύπανσης. Ενώ οι προδιαγραφές των καυσίμων που παράγονται από τα διυλιστήρια συμμορφώνονται με τα πρότυπα ποιότητας της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα καύσιμα που φτάνουν στον καταναλωτή αυτές δεν πληρούν αυτές τις προδιαγραφές. Ο έλεγχος των καυσίμων γίνεται από ειδικευμένα κλιμάκια μέσω δειγμάτων που λαμβάνονται από πρατήρια καυσίμων, δίνοντας έμφαση σε ορισμένες ιδιότητες τους. Μια νοθευμένη βενζίνη, εκτός της άμεσης συνεισφοράς της στην ατμοσφαιρική ρύπανση, έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να προκαλέσει ολική φθορά ακόμα και σε καταλύτες καινούριων οχημάτων (Πετράκης, 2004).

Για τη βενζίνη έχει σημασία ο αριθμός οκτανίου, η περιεκτικότητα σε θείο, η παρουσία ολεφινών, το σύνολο των αρωματικών ενώσεων κ.ά. Για το πετρέλαιο αντίστοιχα παρακολουθείται ο δείκτης κετανίου, η πυκνότητα, η περιεκτικότητα σε θείο, η θερμοκρασία απόσταξης κ.ά. Σε εργαστηριακή ανάλυση 460 δειγμάτων πετρελαίου κίνησης και 125 μολυβδωμένης βενζίνης τα οποία λήφθηκαν από

διάφορα πρατήρια καυσίμων στην Ελλάδα την περίοδο 1998-2000, βρέθηκε το 8,8% των δειγμάτων της βενζίνης νοθευμένο με αμόλυβδη βενζίνη, η οποία έχει μικρότερο κόστος, όπως και το 4% από αυτά να περιέχουν αρωματικούς διαλύτες. Στην ίδια έρευνα βρέθηκε το 28% των δειγμάτων του πετρελαίου κίνησης να είναι νοθευμένο με ναυτιλιακό ή πετρέλαιο θέρμανσης τα οποία είναι μικρότερου κόστους. (Kalligeros *et al.*, 2003). Σημαντική μείωση των ποσοστών θείου στα καύσιμα, εξαιτίας Ευρωπαϊκών οδηγιών, έχει συσχετισθεί με μειωμένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα (Wahlin *et al.*, 2001).

1.4.2.5.3 Θεσμικό πλαίσιο καυσίμων.

Το θεσμικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για τις προδιαγραφές καυσίμων των κινητών πηγών ρύπανσης διαμορφώνεται ουσιαστικά από δυο οδηγίες, την 98/70/EK του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου και Κοινοβουλίου, της 13^{ης} Οκτωβρίου 1998 και της τροποποίησης της, την 2003/17/EK της 22^{ης} Μαρτίου 2003. Αυτές σχετίζονται με θέματα ποιότητας και βελτίωσης των προδιαγραφών των καυσίμων, περιέχοντας συγχρόνως κατευθύνσεις για περαιτέρω αλλαγή τους μετά το πέρας συγκεκριμένων ημερομηνιών, όπως και την κατάργηση της μολυβδωμένης βενζίνης ως καύσιμο των οχημάτων. Ο πίνακας 1.18 παρουσιάζει την εξέλιξη των προδιαγραφών ποιότητας της βενζίνης και του πετρελαίου κίνησης όπως και αυτές που ισχύουν σήμερα, βάσει της θέσπισης των δύο οδηγιών (Πηγή: Οδηγίες 98/70/EK & 2003/17/EK).

Πίνακας 1.18 : Εξέλιξη Ευρωπαϊκών προδιαγραφών ντίζελ κίνησης και βενζίνης.

Ιδιότητα	Καύσιμο	από 1-1-1996	από 1-1-2000	από 1-1-2005	από 1-1-2009
	Βενζίνη				
Αρωματικοί (H/C)		-	42	35	35
Θείο (ppm)		500	150	50	10
Μόλυβδος		0,013	0,005	0,005	0,005
Βενζόλιο		4	1	1	1
	Ντίζελ				
Αρωματικοί (H/C)		-	11	11	11
Θείο (ppm)		500	350	50	10
Θερμοκρασία Απόσταξης 95%		370	360	360	360
Αρ. κετανίου (ελάχ.)		49	51	51	51
Πυκνότητα σε 15°C		860	845	845	845
Λιπαντικότητα		-	460	460	460

1.4.2.5.4 Σταθερές πηγές.

Το φωτοχημικό νέφος σήμερα στην Αθήνα κυρίως οφείλεται στους ρύπους που εκπέμπονται από τους κινητήρες των οχημάτων, χωρίς να υποτιμάται και η συμμετοχή των σταθερών πηγών ρύπανσης, όπως οι εστίες των βιομηχανιών, των μονάδων κεντρικής θέρμανσης, των ξενοδοχείων, των νοσοκομείων, των αρτοποιιών κ.ά., (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, 2003).

Σημαντικές εστίες σταθερών πηγών ρύπανσης στο λεκανοπέδιο της Αττικής είναι οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις κυρίως μικρής ή μέτριας κλίμακας, οι οποίες αποτελούν το 40% του συνόλου της χώρας και βρίσκονται στα νότια – νοτιοδυτικά προάστια της πόλης των Αθηνών, το λιμάνι του Πειραιά στα νότια αυτής και οι πολυάριθμες μονάδες κεντρικής θέρμανσης των κατοικιών οι οποίες βρίσκονται με μεγάλη πυκνότητα απλωμένες σε όλο το λεκανοπέδιο (Kassomenos, 1993).

Η βιομηχανία είναι από τις πλέον σημαντικές σημειακές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη των Αθηνών, έχοντας ιδιαίτερη συμμετοχή σε αυτήν κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Κατά τον έλεγχο των βιομηχανιών, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α 11294/93 (Φ.Ε.Κ. 264/Β/15.4.93), η οποία αναφέρεται στους όρους λειτουργίας και τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα, γίνεται μέτρηση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης και του δείκτη αιθάλης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, των παραγόμενων καυσαερίων και της κατ' όγκο περιεκτικότητας των καυσαερίων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Κατά τη διάρκεια του έτους 2001 σύμφωνα με τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν από τα αρμόδια κλιμάκια του Τομέα Εξωτερικών Καύσεων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, οι εγκαταστάσεις που λειτουργούν εκτός των προβλεπόμενων ορίων ως προς την αιθάλη είναι 9%, ενώ ως προς την περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα, 39%. Η βελτίωση της ποιότητας της καύσης στους λέβητες των βιομηχανιών έχει φτάσει πλέον σε οριακό σημείο και περισσότερη βελτίωση θα ήταν εφικτή μόνο με δραστικά μέτρα όπως η αλλαγή στην κατανάλωση καυσίμων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

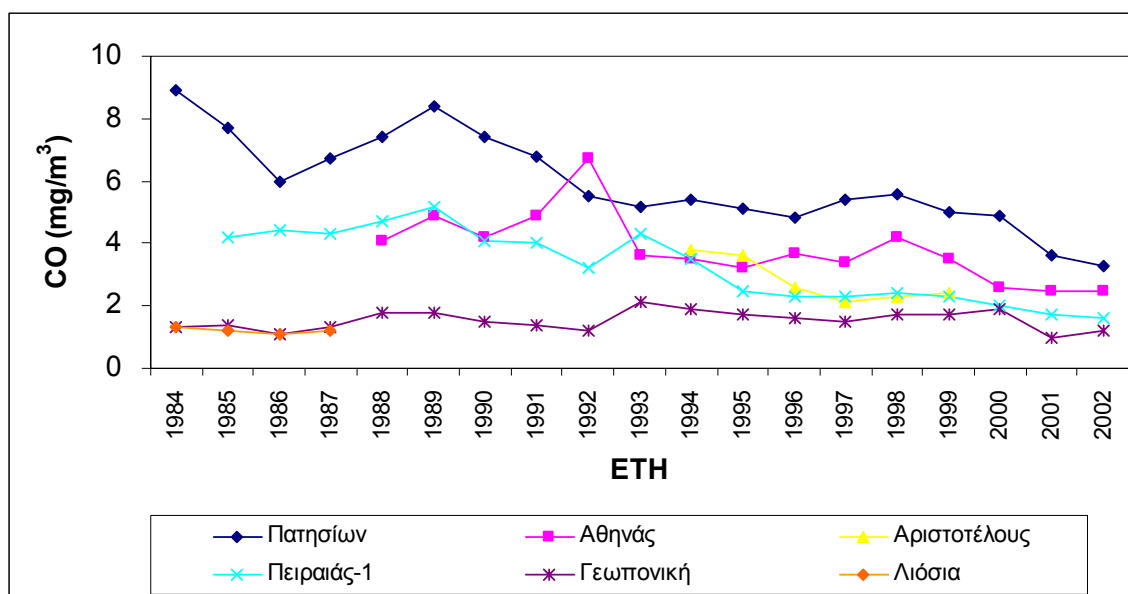
Το θεσμικό πλαίσιο για τις εκπομπές που προέρχονται από βιομηχανικές και γεωργικές εγκαταστάσεις στην Κοινότητα διαμορφώνεται από την οδηγία 96/61/EK του Συμβουλίου, της 24^{ης} Σεπτεμβρίου 1996, η οποία σχετίζεται με την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης εγκαταστάσεων υψηλού δυναμικού ρύπανσης. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται οι βιομηχανίες ενεργειακών δραστηριοτήτων, παραγωγής και μεταποίησης μετάλλων, ορυκτών προϊόντων, χημικών βιομηχανιών, εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων κ.α. Την οδηγία αυτή συνοδεύουν δύο αποφάσεις, η 1999/391/EK της Επιτροπής της 31^{ης} Μαΐου 1999, η οποία σχετίζεται με το ερωτηματολόγιο της 96/61/EK και η 2000/479/EK της επιτροπής, της 17^{ης} Ιουλίου 2000 περί υιοθέτησης ενός ευρωπαϊκού μητρώου ρυπογόνων εκπομπών σύμφωνα με το άρθρο 15 της παραπάνω οδηγίας.

Οι κεντρικές μονάδες θέρμανσης των κτιρίων είναι πολύ σημαντικές σημειακές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης την περίοδο του χειμώνα, όπου υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε πετρέλαιο θέρμανσης. Κατά τον έλεγχο των εγκαταστάσεων, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α 10315/93 (Φ.Ε.Κ. 369/Β/24.5.93), η οποία αναφέρεται στη ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών θέρμανσης για τη θέρμανση κτιρίων

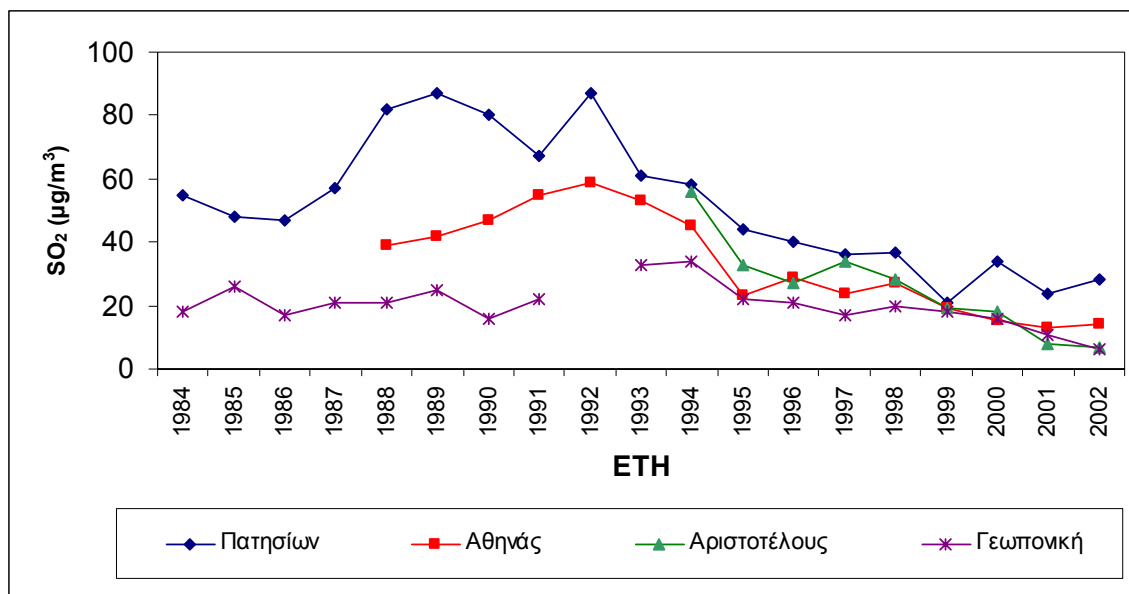
και νερού γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, του δείκτη αιθάλης και της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στα καυσαέρια. Επίσης γίνεται έλεγχος από το αρμόδιο τμήμα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, για τη διάθεση και τη συμπλήρωση φύλλου συντήρησης των εγκαταστάσεων από τους ίδιους τους διαχειριστές τους. Εξετάζοντας συνολικά τις εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης, οι οποίες ελέγχθηκαν τη χειμερινή περίοδο 2001-02, διαπιστώνουμε ότι 44% απ' αυτές δεν πληρούν τις απαιτήσεις της σχετικής Κ.Υ.Α., είτε επειδή παράγουν εκπομπές εκτός ορίων είτε επειδή δεν διαθέτουν τα φύλλα συντήρησης. Η δεύτερη μορφή παρατυπίας είναι αυτή που συνήθως υπερείχε κατά τους ελέγχους της υπηρεσίας ενώ η πρώτη θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί μέσω βελτίωσης της νομοθεσίας με αυστηρότερα όρια εκπομπών για την καύση του πετρελαίου, κίνητρα εισαγωγής του φυσικού αερίου στην κατανάλωση καυσίμου, καθιέρωση μέτρησης νέων ρύπων και των ορίων τους όπως και παροχή οικονομικών κινήτρων για τον εκσυγχρονισμό των υφισταμένων εγκαταστάσεων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

1.4.2.6 Ιστορικό ρύπανσης.

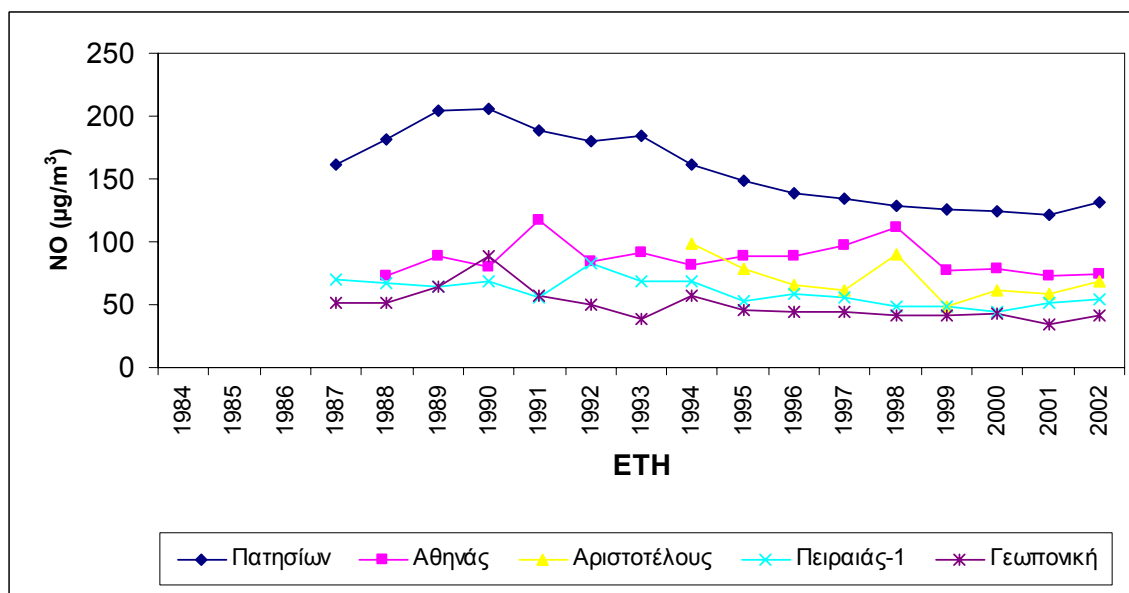
Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών των μετρούμενων ρύπων, ανά σταθμό μέτρησης της πόλης της Αθήνας δίνονται στα διαγράμματα 1.16, 1.17, 1.18, 1.19 και 1.20.



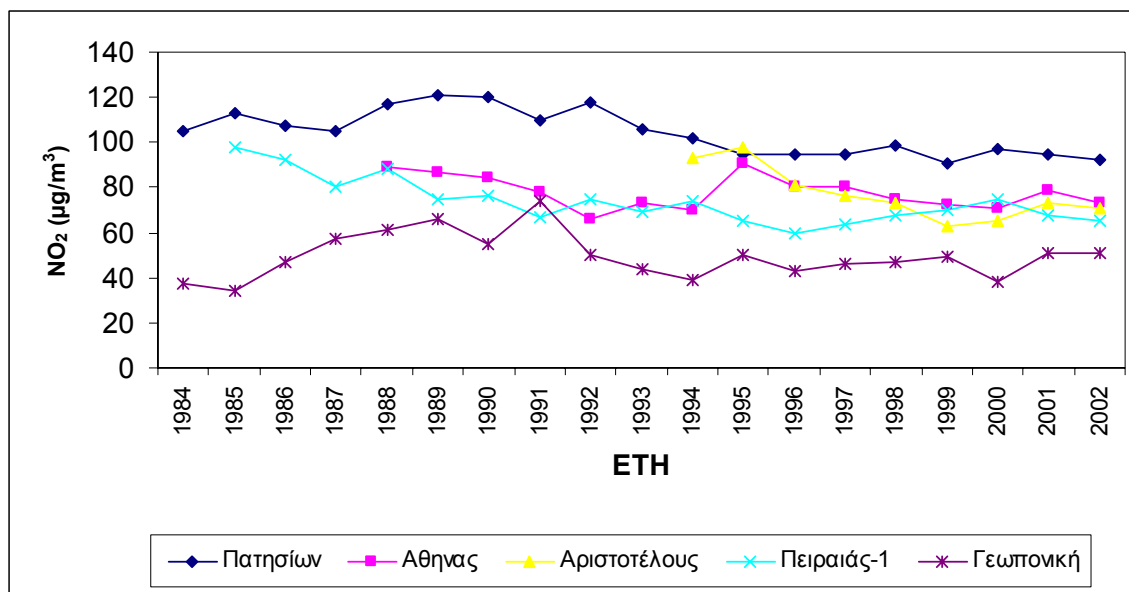
Διάγραμμα 1.16 : Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα, ανά σταθμό μέτρησης για τη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002).



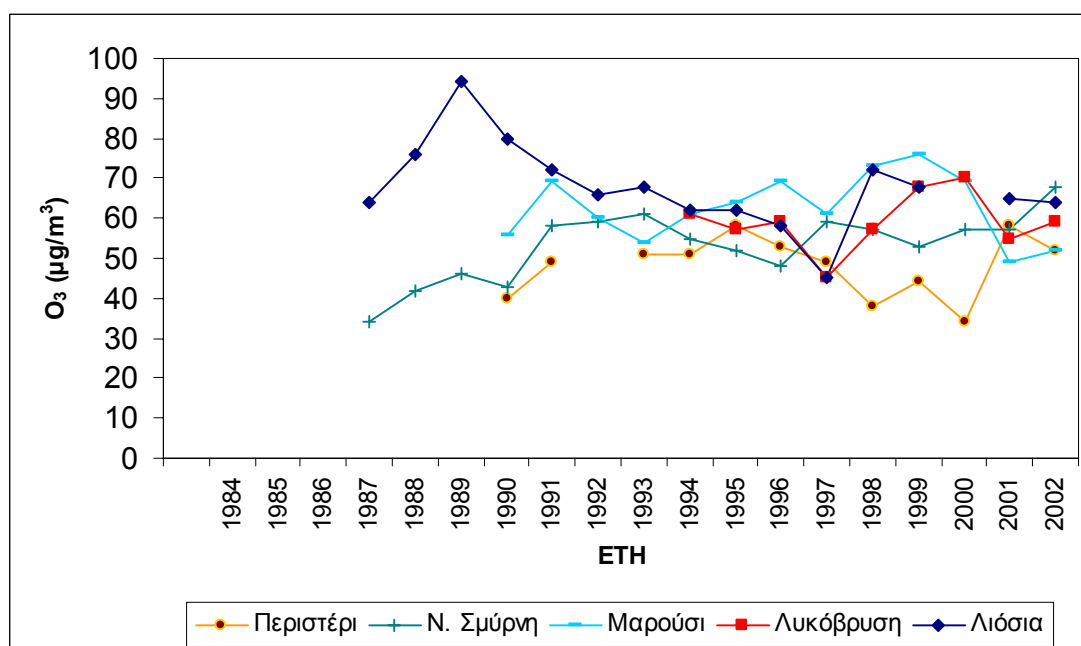
Διάγραμμα 1.17 : Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του διοξειδίου του θείου, ανά σταθμό μέτρησης για τη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



Διάγραμμα 1.18 : Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του αζώτου, ανά σταθμό μέτρησης για τη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



Διάγραμμα 1.19 : Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του διοξειδίου του αζώτου, ανά σταθμό μέτρησης για τη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



Διάγραμμα 1.20 : Η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων των μέσων ετήσιων τιμών του όζοντος, ανά σταθμό μέτρησης για τη πόλη της Αθήνας (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).

Η διαχρονική εξέλιξη των τιμών δείχνει ότι, παρόλο που υπάρχουν στις διάφορες θέσεις αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο, η τάση εξέλιξης είναι γενικά πτωτική, ιδιαίτερα στους πρωτογενείς ρύπους (CO, NO, SO₂) ή υπάρχει τάση σταθεροποίησης, ανάλογα με το ρύπο. Το κύριο πρόβλημα της ατμόσφαιρας στο λεκανοπέδιο φαίνεται να είναι το όζον (O₃), ενώ σημαντικό είναι και το πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί

κυρίως στην ποιοτική αναβάθμιση του στόλου των ιδιωτικών και δημόσιας χρήσης αυτοκινήτων, στην εφαρμογή του μέτρου της κάρτας ελέγχου καυσαερίων (Κ.Ε.Κ.), στα μέτρα ελέγχου εκπομπής ρύπων από διάφορες πηγές, στην κατανάλωση καυσίμων με βελτιωμένες ποιοτικές προδιαγραφές και γενικότερα στην προσπάθεια συμμόρφωσης στις επιταγές των νέων κοινοτικών οδηγιών (για οριακές τιμές ρύπων). Η πτωτική τάση σε ορισμένους ρύπους έχει ιδιαίτερη σημασία δεδομένου ότι διαχρονικά υπάρχει αύξηση των ρυπογόνων δραστηριοτήτων της πόλης. Για το διοξείδιο του θείου, υπάρχει σημαντική τάση μείωσης των τιμών, που συνδέεται με τη μείωση της περιεκτικότητας του πετρελαίου θέρμανσης (ντίζελ) σε θείο από 0,3% σε 0,2% κ.β. και του πετρελαίου κίνησης από 0,050% σε 0,035% κ.β. το 2000, με προοπτική 0,005% για το 2005 και 0,001% για το 2009. Για το διοξείδιο του αζώτου υπάρχει μια τάση σταθεροποίησης τα τελευταία χρόνια. Για το μονοξείδιο του άνθρακα υπάρχει μια μικρή τάση μείωσης ή σταθεροποίησης ανάλογα με το σταθμό μέτρησης, ενώ για το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια (μετρούνται μόνο από το 2000), παρατηρούνται από σταθεροποιητικές μέχρι αυξητικές τάσεις ανάλογα με το σταθμό μετρήσεως τους (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2004).

1.4.2.7 Υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων για τη περίοδο 2001-2002 στη πόλη της Αθήνας.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με τις νέες οδηγίες σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση θεσπίζει, πέραν των άλλων, νέα όρια για τους διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων (βλέπε κεφ. 1.4.3.2.3). Υπάρχουν σημαντικές υπερβάσεις, για μερικούς από τους βασικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους, στην πόλη της Αθήνας για τα έτη 2001-2002.

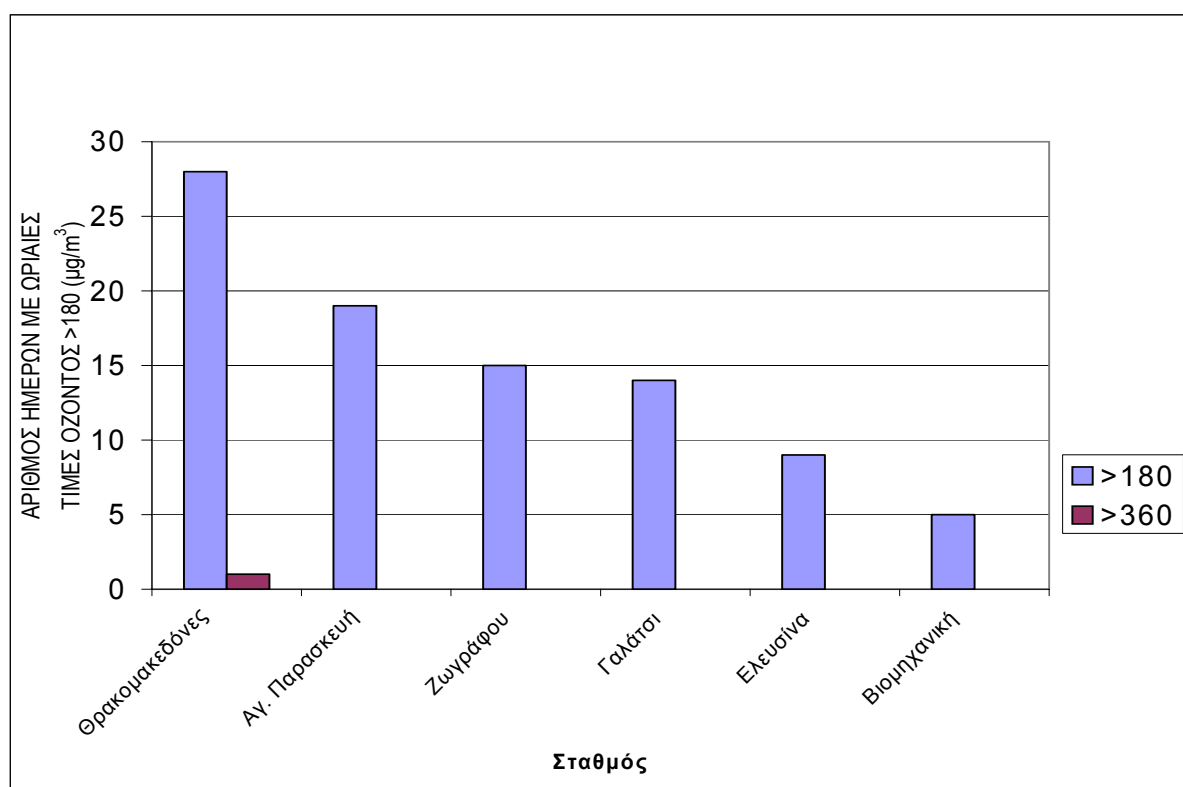
1.4.2.7.1 Υπερβάσεις των οριακών τιμών για τα αιωρούμενα σωματίδια (2001-2002).

Σημαντικό πρόβλημα αποτελούν και τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως $10\mu\text{m}$ (PM_{10}). Σημειώνεται ότι η τιμή στόχος, για το 2001 των $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ και για το 2002 των $65\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές το έτος (Οδηγία 1999/30/ΕΚ). Οι συγκεντρώσεις αυτών, για το 2001, υπερέβησαν την οριακή τιμή ως προς την μέση ημερήσια τιμή, σε 6 από τους συνολικά 8 σταθμούς μέτρησης. Για το έτος 2001 σημειώθηκαν σημαντικές υπερβάσεις της τιμής στόχου στους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Γουδιού πάνω από 35 φορές (47 και 50 ημέρες αντίστοιχα) (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2001).

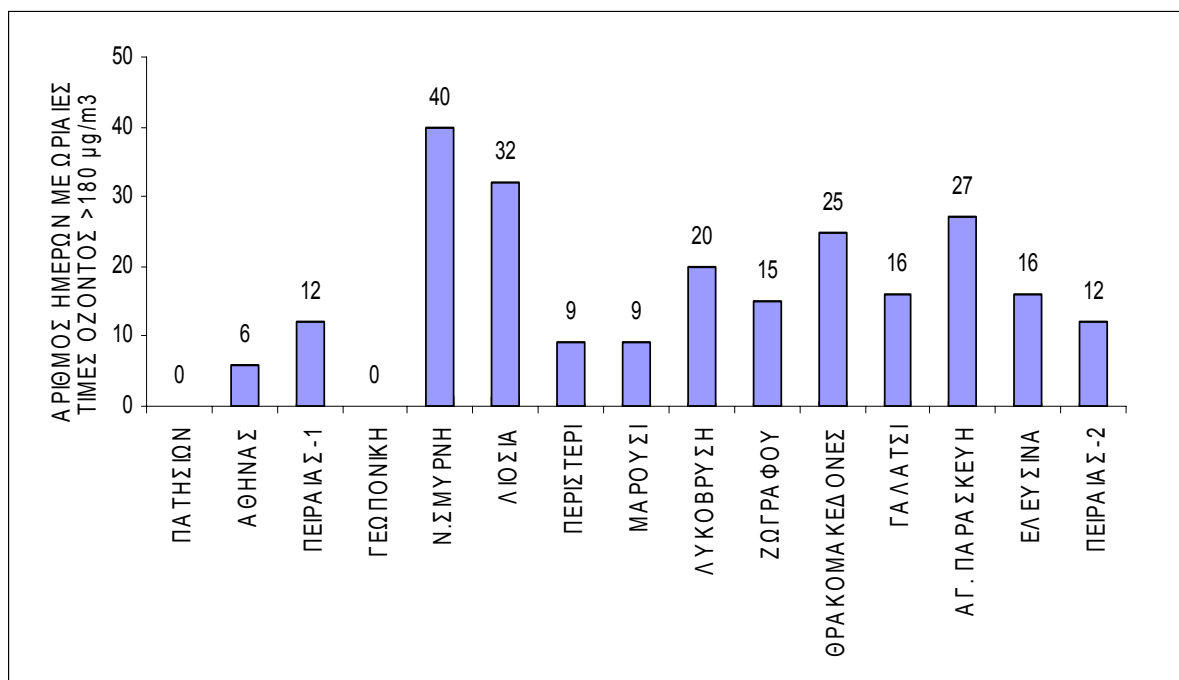
Τα αιωρούμενα σωματίδια AS_{10} , παρουσιάζουν σημαντικές υπερβάσεις των στόχων της νέας οδηγίας της Ε.Ε. στην πλειονότητα των σημείων μέτρησης και για το έτος 2002. Υπέρβαση του στόχου αυτού, ως προς την μέση ημερήσια τιμή, σημειώθηκε για το 2002 σε 5 από τους 8 σταθμούς μέτρησης της Αττικής. Για το έτος 2002 σημειώθηκαν σημαντικές υπερβάσεις της τιμής στόχου στους σταθμούς Αριστοτέλους και Πειραιά πάνω από 35 φορές (71 και 121 ημέρες αντίστοιχα) ως προς την μέση ημερήσια τιμή (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2002).

1.4.2.7.2 Υπερβάσεις των οριακών τιμών για το όζον (2001-2002).

Κύριο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί το όζον. Ο ρύπος αυτός εμφανίζει μεγάλες τιμές λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας της περιοχής, με αποτέλεσμα στην περιφέρεια της πόλης και κυρίως στα βόρεια και ανατολικά προάστια της, να εμφανίζονται το καλοκαίρι και στη διάρκεια των μεσημβρινών και πρώτων απογευματινών ωρών, αυξημένες τιμές. Στα διαγράμματα 1.21 και 1.22 εμφανίζονται, ανά σταθμό μετρήσεως του ρύπου, οι υπερβάσεις των ορίων για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, της Οδηγίας της Ε.Ε. (2002/3/ΕΚ).



Διάγραμμα 1.21 : Αριθμός ημερών του 2001 όπου σημειώθηκε υπέρβαση των ορίων όζοντος ($180\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $360\mu\text{g}/\text{m}^3$) ανά σταθμό μέτρησης (Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2001).



Διάγραμμα 1.22 : Αριθμός ημερών με υπέρβαση των ωριαίων τιμών όζοντος ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατώφλι ενημέρωσης κοινού) για το έτος 2002. Δεν υπήρξε υπέρβαση του ορίου των $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που είναι το όριο συναγερμού του πληθυσμού (Πηγή : Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2002).

1.4.3 Θεσμικό πλαίσιο

1.4.3.1. Ορισμοί.

Σύμφωνα με την οδηγία 2005/0183(COD), υποβληθείσα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 21/09/2005 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (CAFE), δίνονται οι παρακάτω ορισμοί :

- Επίπεδο*: η συγκέντρωση ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεση του σε μια επιφάνεια σε δεδομένη χρονική στιγμή,
- εκτίμηση*: οποιοδήποτε μέθοδος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση, τον υπολογισμό, την πρόβλεψη ή την κατά προσέγγιση εκτίμηση επιπέδων,
- οριακή τιμή*: επίπεδο καθοριζόμενο βάση επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις,
- ανώτατο όριο συγκέντρωσης*: επίπεδο καθοριζόμενο βάση επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να προλαμβάνονται αδικαιολόγητα υψηλοί κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις,
- περιθώριο ανοχής*: το ποσοστό της οριακής τιμής κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβαση της, σύμφωνα με τους όρους της παρούσας οδηγίας,
- τιμή στόχος*: επίπεδο καθοριζόμενο με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται, οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του

περιβάλλοντος, που επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν εντός δεδομένης χρονικής περιόδου,

-*όριο συναγερμού*: επίπεδο άνω του οποίου υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία ύστερα από σύντομη έκθεση και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη μέλη έχουν την υποχρέωση να λαμβάνουν άμεσα μέτρα,

-*όριο ενημέρωσης*: το επίπεδο πέρα από το οποίο η βραχύχρονη έκθεση εγκυμονεί, για ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η άμεση και κατάλληλη πληροφόρηση,

-*μη εκτεθειμένες τοποθεσίες αστικού χαρακτήρα*: τοποθεσίες σε αστικές περιοχές στις οποίες τα καταγραφόμενα επίπεδα είναι αντιπροσωπευτικά της έκθεσης ολόκληρου του αστικού πληθυσμού (Directive 2005/0183).

1.4.3.2 Νομοθεσία για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους στην Ε.Ε. (CO, NO_x, SO₂, PM, O₃).

1.4.3.2.1 Ιστορικό.

Εδώ και πολύ καιρό, έχει αναγνωριστεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Οι πρώτες κοινοτικές δράσεις οι οποίες ουσιαστικά ξεκίνησαν τη δεκαετία του '80, εγγεγραμμένες σε 4 διαδοχικά προγράμματα δράσεως (1973,1977,1983,1987), υιοθετούσαν μια κάθετη και μια τομεακή προσέγγιση των οικολογικών προβλημάτων. Κατά την περίοδο που ακολούθησε η Κοινότητα θέσπισε περίπου 200 νομοθετικές πράξεις, κυρίως για τον περιορισμό της ρύπανσης, μέσω θέσπισης ελαχίστων προτύπων ιδιαίτερα σε θέματα ρύπανσης των υδάτων και του αέρα. Σημαντικότερες από αυτές ήταν η οδηγία 80/779/EEC που περιείχε τη θέσπιση ανωτάτων ορίων και καθοδηγητικών τιμών για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια, μαζί με τη μετέπειτα τροποποίηση της, την 89/427/EEC και η 85/203/EEC, η οποία σχετίζεται με πρότυπα ποιότητας για το διοξείδιο του αζώτου. Η θέσπιση του κανονιστικού αυτού πλαισίου δεν ανέστειλε την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα η Κοινοτική δράση να αναβαθμιστεί σε επίπεδο επίσημης πολιτικής. Σε αυτό συνέλαβε σημαντικά η Συνθήκη του Άμστερνταμ (1987) με την ενσωμάτωση της Βιώσιμης Ανάπτυξης στους στόχους της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Με στόχο την υποστήριξη της αειφόρου ανάπτυξης για τη συμβολή στην ουσιαστική και μετρήσιμη βελτίωση στο περιβάλλον της Ευρώπης δημιουργήθηκε από την Ε.Ε. ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος που έχει ως κύρια αρμοδιότητα την παροχή αξιόπιστων και συγκρίσιμων πληροφοριών για το περιβάλλον στους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων και στους πολίτες. Για λόγους αποτελεσματικότητας, το Πέμπτο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον, "Προς μια αειφόρο ανάπτυξη" θέσπισε τις αρχές μιας βουλευσιαρχικής ευρωπαϊκής στρατηγικής για την περίοδο 1992-2000 και σηματοδοτήθηκε η αρχή μιας οριζόντιας κοινοτικής δράσης, που λαμβάνει υπόψη όλους τους ρυπογόνους παράγοντες (βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές, γεωργία) (Ε.Ε., 2005Α).

Μια σημαντική οδηγία στο πλαίσιο του πέμπτου προγράμματος, είναι η οδηγία-πλαίσιο για την ποιότητα του αέρα (96/62/EK), με την οποία καθιερώθηκε ένα πλαίσιο για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα

στην Ε.Ε. Βασικός της σκοπός είναι η θέσπιση των βασικών αρχών μιας κοινής στρατηγικής με σκοπό τον καθορισμό των στόχων σε ότι αφορά την ποιότητα του αέρα, ούτως ώστε να προλαμβάνονται ή να περιορίζονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις για την υγεία του ανθρώπου, την εκτίμηση της ποιότητας του αέρα, την ενημέρωση του κοινού, μεταξύ άλλων ορίζοντας κατώφλια συναγερμού. Παράλληλα, η οδηγία-πλαίσιο περιείχε κατάλογο των ρύπων προτεραιότητας, για τους οποίους θα έπρεπε να καθιερωθούν στόχοι για τη ποιότητα του αέρα στις θυγατρικές νομοθετικές πράξεις. Εν συνεχεία, εκδόθηκαν 4 θυγατρικές οδηγίες για συγκεκριμένους ρύπους καθώς και μια απόφαση του Συμβουλίου για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών όσον αφορά τη παρακολούθηση στην ποιότητας του αέρα (Οδηγία 96/62/ΕΚ).

- Η οδηγία – πλαίσιο 96/62/ΕΚ του Συμβουλίου, της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 1996, για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα,
- η πρώτη θυγατρική της οδηγία, 1999/30/ΕΚ του Συμβουλίου, της 22^{ας} Απριλίου 1999, για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίων και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου στον ατμοσφαιρικό αέρα,
- η δεύτερη θυγατρική της οδηγία 2000/69/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000, για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα,
- η τρίτη θυγατρική της οδηγία 2002/3 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 12^{ης} Φεβρουαρίου 2002, σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα,
- η απόφαση 97/101/ΕΚ του Συμβουλίου της 27^{ης} Ιανουαρίου 1997 για την καθιέρωση της διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων που προέρχονται από τα δίκτυα και τους μεμονωμένους σταθμούς μέτρησης της ρύπανσης του αέρα του περιβάλλοντος στα κράτη μέλη.

Στην παραπάνω κατεύθυνση συνέλαβε σημαντικά η θέσπιση της «Συνολικής στρατηγικής υπέρ της αειφόρου ανάπτυξης», από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα τον Μάιο του 2001 και η έγκριση της από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο στο Γκέτεμποργκ τον Ιούνιο του 2001, που προτρέπει για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την έκδοση οδηγιών για τον καθορισμό των ανώτατων ορίων εθνικών εκπομπών για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και για την προσπάθεια μείωσης της συγκέντρωσης του όζοντος στον περιβάλλοντα αέρα. Ακολούθησε η έκδοση της οδηγίας 2001/81/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2001, σχετικά με εθνικά όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το διοξείδιο του θείου, το όζον και τις πρόδρομες ουσίες του (Οδηγία 2001/81/ΕΚ).

Στη συνέχεια, το Έκτο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον, το οποίο εγκρίθηκε με την απόφαση αριθ. 1600/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Ιουλίου 2002, αναγνωρίζει την ανάγκη να μειωθεί η ρύπανση σε επίπεδα τα οποία ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, αποδίδοντας ιδιαίτερη σημασία στους ευπαθείς πληθυσμούς και το περιβάλλον συνολικά, αναφέροντας παράλληλα ότι επιβάλλεται να βελτιωθεί η παρακολούθηση και η εκτίμηση της ποιότητας του αέρα συμπεριλαμβανομένης της εναπόθεσης ρύπων, καθώς και η πληροφόρηση του κοινού (Οδηγία 2005/01/83).

1.4.3.2.2 Υπάρχουσα κατάσταση σήμερα.

Στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας του Ιουνίου του 2002 για «βελτίωση της νομοθεσίας», το Φεβρουάριο του 2003 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε πολιτική για την επικαιροποίηση και την απλοποίηση του κοινοτικού κεκτημένου. Η εν λόγω πολιτική είχε ως στόχο η παράγωγή νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Κοινότητας να καταστεί σαφής, κατανοητή, ενημερωμένη και εύχρηστη. Για τους λόγους αυτούς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο του εξέδωσαν τη οδηγία 2005/0183 (COD), υποβληθείσα από τη Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 21/09/2005, «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη» (CAFE), που έχει ως στόχο την ουσιαστική αναθεώρηση και συγχώνευση των πέντε νομοθετικών πράξεων του υφισταμένου κοινοτικού κεκτημένου σε μια μόνο οδηγία. Τοιουτοτρόπως, θα επιτυγχάνεται η απαραίτητη απλοποίηση και ο εξορθολογισμός των υφισταμένων διατάξεων, ιδίως σε ότι αφορά την παρακολούθηση και υποβολή εκθέσεων. Παράλληλα, με την πρόταση αυτή επικαιροποιούνται διατάξεις ώστε να αντανakλούν τις νέες επιστημονικές εξελίξεις και καθιερώνονται έλεγχοι σχετικά με την έκθεση των ανθρώπων στα αιρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}) της ατμόσφαιρας τα οποία είναι υπεύθυνα για σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, αλλά επί παρόντος δεν υφίσταται συγκεκριμένο όριο κάτω από το οποίο δεν αποτελούν κίνδυνο. Για να επιτευχθεί ένας βαθμός προστασίας της υγείας από το συγκεκριμένο ρύπο πρέπει να συνδυαστεί με ένα απόλυτο ανώτατο όριο συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα, μέσω της συγκεκριμένης οδηγίας (Directive 2005/0183).

Η νέα κοινοτική οδηγία 2005/0183 (COD), θεσπίζοντας συγκεκριμένα μέτρα έχει ως βασικότερους στόχους :

- Τον προσδιορισμό και καθορισμό των στόχων για τη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος, θεσπίζοντας παράλληλα κατάλληλα πρότυπα για τον ατμοσφαιρικό αέρα που να λαμβάνουν υπόψη τα αντίστοιχα πρότυπα, τις κατευθυντήριες γραμμές και τα προγράμματα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας,
- την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στα κράτη μέλη, βάση κοινών μεθόδων και κριτηρίων ιδίως όσον αφορά στην αξιολόγηση των συγκεντρώσεων ορισμένων ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα,
- την παροχή πληροφοριών όσον αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να διευκολυνθεί η καταπολέμηση της ρύπανσης καθώς και η παρακολούθηση των μακροπρόθεσμων τάσεων και βελτιώσεων που προκύπτουν από τα λαμβανόμενα εθνικά και κοινοτικά μέτρα,
- την εξασφάλιση της διάθεσης αυτών των πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του αέρα στο ευρύ κοινό,
- τη διατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, όταν είναι καλή όπως και τη βελτίωση της σε αντίθετη περίπτωση,
- την προώθηση μεγαλύτερης συνεργασίας ανάμεσα στα κράτη μέλη σε ότι αφορά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

1.4.3.2.3 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα.

Το Υπουργικό Συμβούλιο της Ελλάδας λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω οδηγίες όπως και τις διατάξεις των άρθρων της Εθνικής Νομοθεσίας (άρθρο 7 νόμου

1650/1986, για τη προστασία του περιβάλλοντος, Φ.Ε.Κ. Α' 160 κ.α.), προχώρησε σε μια απόφαση και μια πράξη με τις οποίες ταυτόχρονα θα συμμορφώνεται με τις αυτές, την Πράξη του Υπουργικού Συμβουλίου για τις οριακές και κατευθυντήριες τιμές της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, σωματίδια και μόλυβδο (Π.Υ.Σ. 34/30.5.2002, Φ.Ε.Κ. 125 Α/5-6-2002) και την Απόφαση του Υπουργικού Συμβουλίου για τις οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε βενζόλιο και μονοξείδιο του άνθρακα (Κ.Υ.Α 9238/332/2004, Φ.Ε.Κ. 405Β/27-2-2004). Όσον αφορά στο όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα λαμβάνονται υπόψη οι διατάξεις της Απόφασης 2004/279/ΕΚ της Επιτροπής, της 19^{ης} Μαρτίου 2004, σχετικά με τις κατευθυντήριες γραμμές εφαρμογής των οδηγιών 2002/3/ΕΚ και 2001/81/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου του (Μιχαλοπούλου, 2004).

Για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ ισχύει η νέα κοινοτική οδηγία 2005/0183 που σχετίζεται με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (CAFE) και θέτει τους στόχους μείωσης της συγκέντρωσης τους και τα ανώτατα όρια των συγκεντρώσεων τους. Με βάση τις παραπάνω Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις, Πράξεις του Υπουργικού Συμβουλίου και Κοινοτικές Οδηγίες έχουμε τη διαμόρφωση του παρακάτω θεσμικού πλαισίου για κάποιους από τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους στην Ελλάδα σήμερα (Οδηγίες 2005/0183/ΕΚ & 96/62/ΕΚ):

Πίνακας 1.19 : Οριακές τιμές για την προστασία της υγείας του ανθρώπου.

Διοξείδιο του θείου	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης
Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 24 φορές ανά ημερολογιακό έτος	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (43%) κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας μειούμενο από 01/01/01 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 01/01/05	1η Ιανουαρίου 2005
Ημερήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 3 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Κανένα	1η Ιανουαρίου 2005
Διοξείδιο του αζώτου				
Ωριαία οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	1 ώρα	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50% στις 19/07/99 μειούμενο από την 01/01/01 και ανά δωδεκάμηνο εφεξής κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 01/01/10	1η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% στις 19/07/99 μειούμενο από την 01/01/01 και ανά δωδεκάμηνο εφεξής κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 01/01/10	1η Ιανουαρίου 2010

Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (Στάδιο 1)	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφω- σης
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 μg/m ³ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περι- σσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 01/01/01 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φτάσει 0% την 01/01/05	1η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40μg/m ³	20% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας, μειούμενο από 01/01/01 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φτάσει 0% την 01/01/05	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (Στάδιο 2)	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφω- σης
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 μg/m ³ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περι- σσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάση δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του Σταδίου 1	1 ^η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	20μg/m ³	50% κατά την 01/01/05 μειούμενο κατόπιν κάθε δωδεκάμηνο κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φτάσει το 0% την 1η Ιανουαρίου 2010	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5}	Μέση χρονική περίοδος	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Τελική ημερομηνία για επίτευξη της συγκέντρωσης
Ανώτατο όριο συγκέντρωσης	Ημερολογιακό έτος	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% κατά τη θέση σε ισχύ της οδηγίας, μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά δωδεκάμηνο εφεξής κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να κατά λήξει σε 0% έως την 1η Ιανουαρίου 2010	1η Ιανουαρίου 2010
Μονοξείδιο του άνθρακα	Περίοδος εξαγωγής της μέσης συγκέντρωσης	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία έως την οποία πρέπει να επιτευχθεί η οριακή τιμή
Οριακή τιμή για προστασία της υγείας του ανθρώπου	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη μέση τιμή	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50%) κατά την 13η Δεκεμβρίου 2001 μειούμενο την 1η Ιανουαρίου 2006 και κατόπιν ανά δωδεκάμηνο, κατά 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέχρι μηδενισμού του τον Ιανουάριο 2010	1η Ιανουαρίου 2005
Όζον	Μέση χρονική περίοδος	Τιμή στόχος	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να επιτευχθεί ο στόχος	
Οριακή τιμή για την προστασία της υγείας	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που δεν πρέπει να υπερβαίνονται περισσότερο από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος κατά μ.ο. σε τρία χρόνια	2010	
Όζον (όρια συναγερμού και ενημέρωσης)	Σκοπός	Μέση χρονική περίοδος	Ανώτατο επίπεδο	
	Ενημέρωση	1 ώρα	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Συναγερμός	1 ώρα	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Διοξείδιο του θείου				
	Συναγερμός	-	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Διοξείδιο του αζώτου				
	Συναγερμός	-	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Τη τελευταία δεκαετία εμφανίζεται, μέσα από ένα αυξανόμενο σώμα επιδημιολογικών και κλινικών μελετών, η δυνητικά επιβλαβής επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και ιδιαίτερα σε ασθένειες που σχετίζονται με το καρδιαγγειακό σύστημα. Ιδιαίτερο μερίδιο ευθύνης έχουν οι πρωτογενείς ρύποι του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου, του διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως και οι δευτερογενείς ρύποι του διοξειδίου του αζώτου και του όζοντος. Η εμφάνιση υψηλών επιπέδων συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζεται άμεσα με αυξανόμενες εισαγωγές σε νοσοκομεία και αυξανόμενη θνησιμότητα σε ανθρώπους με ή χωρίς προδιάθεση εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων (Α.Η.Α., 2004). Διάφορα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν δείξει ότι υψηλά επίπεδα ρύπων σε συνδυασμό με αντίξοες καιρικές συνθήκες έχουν προκαλέσει τον πρόωρο θάνατο χιλιάδων ανθρώπων. Μελέτες επιδράσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων, ακόμη και σε υποτιθέμενα ακίνδυνα επίπεδα συγκεντρώσεων τους, έχουν δείξει ότι μια μικρή αύξηση της μέσης ημερήσιας τιμής τους μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της θνησιμότητας από καρδιαγγειακά νοσήματα (Γεντεκάκης, 2003). Υπάρχουν ξεκάθαρες ενδείξεις που συνδέουν υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης ρύπων με θανάτους και εισαγωγές σε νοσοκομεία από καρδιαγγειακά νοσήματα, όπως στηθάγχη, οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου και αρρυθμία (Routledge *et al.*, 2003).

2.2 Επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.

2.2.1 Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου επικοινωνεί εντατικά με το περιβάλλον, καθώς κάθε λεπτό εισέρχονται στους πνεύμονες 100 λίτρα αέρα. Εάν λάβουμε υπόψη τους αέριους ρυπαντές και τα μικροσωματίδια, που περιέχονται στην ποσότητα αυτή, μπορούμε να φανταστούμε το λειτουργικό φόρτο του αναπνευστικού και του καρδιαγγειακού μας συστήματος κατά την προσπάθεια του να προστατευτεί από τους ρύπους. Όταν μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου στο αίμα αυξάνεται ταυτόχρονα ο όγκος του εισπνεόμενου αέρα με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αναπνοής και του κτύπου της καρδιάς. Παράλληλα, ο κάθε ρύπος αναλόγως της συγκέντρωσης και των χαρακτηριστικών του, έχει διαφορετική δράση μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό με δυσμενείς συνέπειες για αυτόν (Κωτσοβίνου, 1992).

Η αύξηση των καρδιαγγειακών νοσημάτων είναι αποτέλεσμα μιας χρόνιας και συνδυασμένης αλληλεπίδρασης κληρονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Παρόλο που οι γενετικοί παράγοντες (που σχετίζονται με την ηλικία, το φύλο, το

οικογενειακό ιστορικό, το ύψος), όπως και η περίπτωση εμμηνόπαυσης στις γυναίκες είναι καθοριστικοί, οι μεγάλες μεταβολές στη συχνότητα εμφάνισης της νόσου τον προηγούμενο αιώνα ενοχοποιούν εξίσου και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι παράγοντες που δεν σχετίζονται με την κληρονομικότητα, όπως η διαίτα, το κάπνισμα, η άσκηση, και το αλκοόλ επηρεάζουν και αυτοί σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακού επεισοδίου. Συγχρόνως αποδεικνύεται ότι η μετανάστευση πληθυσμών, με ίδια γενετικά χαρακτηριστικά, σε νέα περιβάλλοντα μεταβάλλει σημαντικά το κίνδυνο εμφάνισης της νόσου, κάτι που υπονοεί ότι παράγοντες, όπως η γήρανση δεν είναι μοναδικοί συνένοχοι προς αυτή την κατεύθυνση. Άλλοι παράγοντες που συντελούν στην αύξηση του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων είναι η αύξηση του αριθμού λιποπρωτεϊνών χοληστερόλης χαμηλής πυκνότητας (LDL), η υπέρταση, ο διαβήτης, η παχυσαρκία, η μείωση των λιποπρωτεϊνών υψηλής πυκνότητας (HDL), το ινωδογόνο, η ομοκυστεΐνη, η αριστερή κοιλιακή υπερτροφία, οι οποίοι προέρχονται από συνδυασμούς κληρονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων (Bhatnagar, 2004).

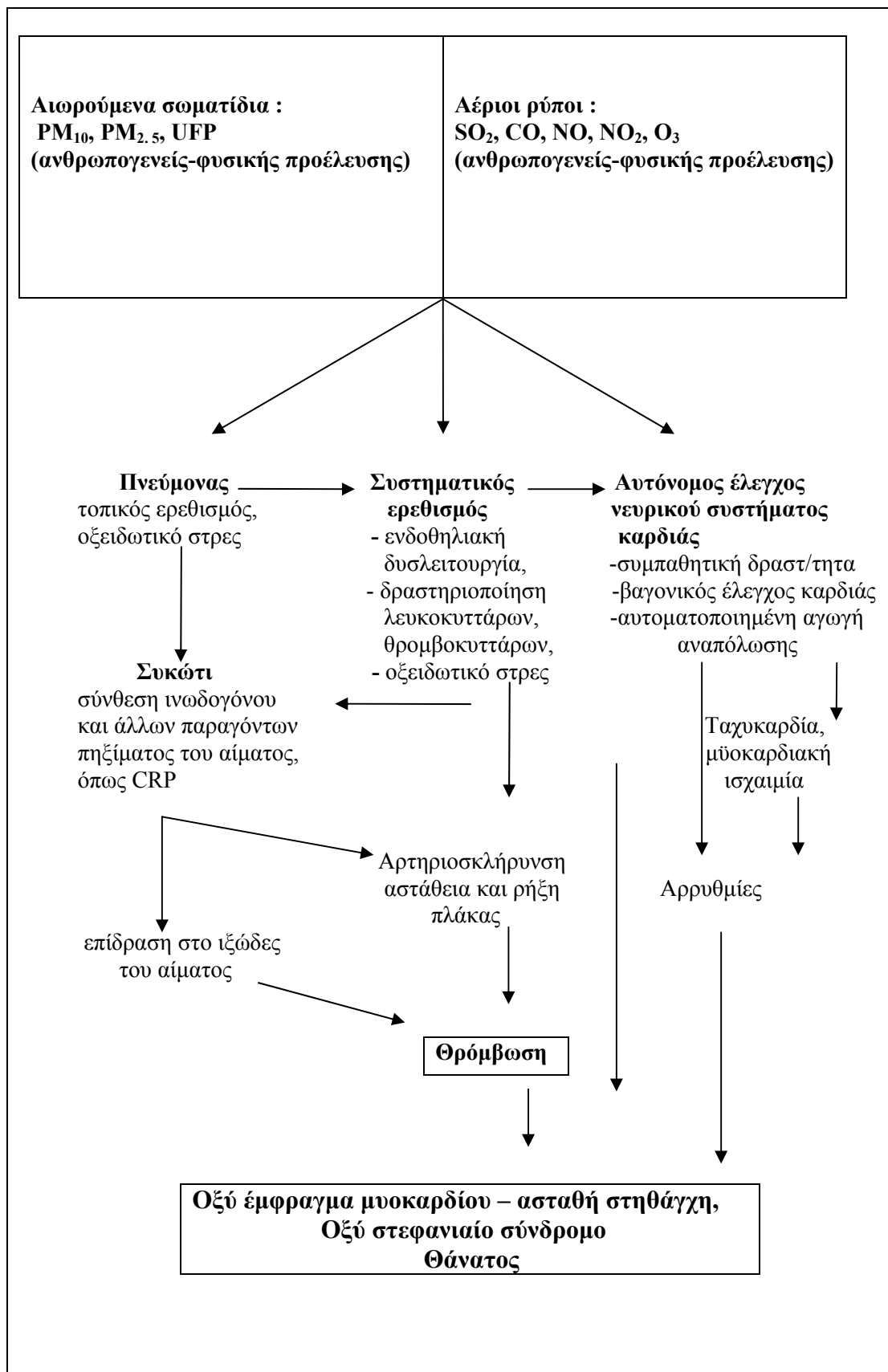
Υπάρχουν κάποιοι δυνητικοί βιολογικοί μηχανισμοί, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη σύνδεση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με παθήσεις της καρδιάς, όπως η εμφάνιση κρουσμάτων στεφανιαίων συνδρόμων. Αυτοί συμβάλλουν είτε άμεσα στο καρδιαγγειακό σύστημα μέσα από την κυκλοφορία τους στο αίμα, είτε έμμεσα ως αποτέλεσμα μιας συστηματικής οξειδωτικής πίεσης στον πνεύμονα και των ερεθιστικών αντιδράσεων της. Οι μηχανισμοί αυτοί διευκολύνουν σταδιακά ή άμεσα την εμφάνιση δυσμενών καταστάσεων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου, καθώς προκαλούν μεταβολή στο ιξώδες του αίματος, τάση για αρρυθμία, οξεία συστολή των αγγείων των αρτηριών, συστηματικούς οξειδωτικούς ερεθισμούς, προώθηση αρτηριοσκλήρυνσης και ρήξης καρδιαγγειακής πλάκας, με πιθανή συνέπεια την πρόκληση οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Α.Η.Α., 2004).

Οι άμεσες επιδράσεις μπορούν να εμφανιστούν ακόμα και μετά από μερικά λεπτά έως και λίγες ώρες από την έκθεση του πληθυσμού σε ρύπους που μπορούν και διαπερνούν το πνευμονικό επιθηλιακό ιστό, με αποτέλεσμα να εισέρχονται απευθείας στο κυκλοφορικό σύστημα του οργανισμού. Τέτοιοι ρύποι είναι οι αέριοι και τα πολύ λεπτά στερεά σωματίδια (UFP, PM_{2.5}). Η δράση τους συνεχίζεται και στο νευρικό σύστημα των πνευμόνων όπου προκαλούν δευτερογενείς αντιδράσεις, όπως ερεθισμούς και οξειδωτικό στρες, με αποδέκτες τους ίδιους τους πνεύμονες. Πιθανή εξέλιξη είναι η σταθεροποίηση μιας κατάστασης τοπικού και συστηματικού ερεθισμού των πνευμόνων και με τελική κατάληξη τη ρήξη της καρδιαγγειακής πλάκας και τη θρόμβωση. Μια πιο άμεση επίπτωση της εισροής των ρύπων στο κυκλοφορικό σύστημα είναι η αλλοίωση της σύστασης του αίματος, που κάτω από κατάλληλες συνθήκες οδηγεί και αυτό σε αστάθεια και ρήξη της αθηρωματικής πλάκας και στη συνέχεια σε θρόμβωση. Μια άλλη άμεση συνέπεια της εισροής των ρύπων στο κυκλοφορικό σύστημα είναι αυτή της αλλοίωσης του αυτόνομου τόνου της καρδιάς με αποτέλεσμα την έναρξη καρδιαγγειακής αρρυθμίας. Μέσω αυτών των άμεσων επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου εξηγείται η εμφάνιση φαινομένων, όπως οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου ή στηθάγχη, μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα (Α.Η.Α., 2004).

Οι έμμεσες επιδράσεις, οι οποίες πρόκειται να εμφανιστούν από μερικές ώρες μέχρι και μερικές ημέρες, προέρχονται κυρίως από αέριους ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους (PM₁₀, PM_{2.5}), τα οποία κατά την εισπνοή τους

φτάνουν και επικάθονται μέχρι τον κυψελιδικό ιστό των πνευμόνων, χωρίς να τον ξεπερνούν, προκαλώντας συστηματικό ερεθισμό σε αυτόν. Στην συνέχεια επέρχεται η δραστηριοποίηση αιμοστατικών καταστάσεων, ενδοθηλιακών δυσλειτουργιών και η εξασθένηση της καρδιαγγειακής λειτουργίας. Κατά αυτόν το τρόπο προωθείται η αρτηριοσκλήρυνση και επιταχύνεται η ρήξη της καρδιαγγειακής πλάκας. Στο τέλος επέρχεται η θρόμβωση και το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, εάν δεν έχουν συμβεί σε κάποιο προηγούμενο στάδιο (Α.Η.Α., 2004).

Το διάγραμμα 2.1 παρουσιάζει τις βασικότερες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου με τις συνέπειες τους, όπως και τις αλληλοσυνδέσεις τους (Routledge *et al.*, 2003).



Διάγραμμα 2.1: Επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου (Πηγή: Routledge *et al.*, 2003).

2.2.1.1 Συστηματικός ερεθισμός

Η συνεχής οξειδωτική πίεση και ο ερεθισμός του πνεύμονα από τους εισπνεόμενους ρύπους μπορεί να οδηγήσει σε μια κατάσταση συστηματικού ερεθισμού, η οποία συσχετίζεται με την εμφάνιση καρδιαγγειακών επεισοδίων. Η απόδειξη ότι ο συστηματικός ερεθισμός είναι αναπόσπαστο συστατικό της αρτηριοσκλήρυνσης έρχεται από το γεγονός ότι η αντίδραση του οργανισμού, κατά την έκθεση του σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, θα επιφέρει σταδιακά την επιτάχυνση της διεργασίας της μέχρι την τελική ρήξη της καρδιαγγειακής πλάκας. Ο συστηματικός ερεθισμός προέρχεται από την ενεργοποίηση ειδικών παραγόντων αντιγραφής γονιδίων στα πνευμονικά κύτταρα, όπως οι κυτοκίνες και οι χημοκίνες, ως αντίδραση της επικάθισης σωματιδιακών ρύπων στην επιφάνεια τους και της διεργασίας φαγοκύτωσης τους. Οι κυτοκίνες είναι οι βασικοί ρυθμιστές του τοπικού ερεθισμού στον πνεύμονα, της διέγερσης του νωτιαίου μυελού, της απελευθέρωσης λευκοκυττάρων και αιμοπεταλίων στο αίμα, της απελευθέρωσης πρωτεϊνών το συκώτι όπως και άλλων συντελεστών που προκαλούν αύξηση του ιξώδους του αίματος (Suwa *et al.*, 2002).

2.2.1.1.1 Παραγωγή CPR (C- αντιδρώσα πρωτεΐνης).

Οι κυψελιδοκοί μακροφάγοι, ως αντίδραση στην επίδραση των ρύπων, παράγουν οξειδωτικές κυτοκίνες, όπως το νεκρωτικό παράγοντα άλφα (TNF- α), την ιντερλευκίνη-1 (IL-6) και το διεγερτικό παράγοντα γρανυλοκυττίνης. Όταν τα κύτταρα των βρογχικών επιθηλίων εκτίθενται σε σωματιδιακούς ρύπους απελευθερώνουν οξειδωτικές κυτοκίνες, όπως την ιντερλευκίνη-8 και τον παράγοντα άλφα (Suwa *et al.*, 2002).

Αυξημένες συγκεντρώσεις ιντερλευκίνης-1 (IL-6) και γρανυλοκυττίνης εμφανίζονται στον ανδρικό πληθυσμό μετά από την έκθεση του σε πυρκαγιές. Οι κυτοκίνες είναι άμεσα υπεύθυνες για τη παραγωγή της C- αντιδρώσας πρωτεΐνης (CRP) και της ουσίας ινωδογόνου στο συκώτι, οι οποίοι αποτελούν δείκτες έκθεσης σε ρύπους, τραυματισμού και ερεθισμού, όπως και προπομποί εμφάνισης καρδιαγγειακών επεισοδίων. Η CRP έχει συσχετισθεί με την εξασθένηση της ενδοθηλιακής ελαστικότητας σε ασθενείς που πάσχουν από στεφανιαία νόσο (A.H.A., 2004).

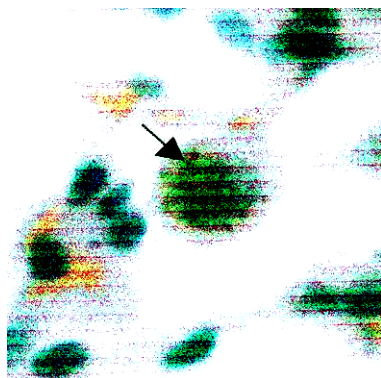
Η παραγωγή της CRP ενοχοποιείται για την εμπλοκή της στη γρήγορη ανάπτυξη της αρτηριοσκλήρυνσης μέσω μηχανισμών ενίσχυσης του σχηματισμού αφρωδών κυττάρων, διέγερσης προθρομβωτικών παραγόντων στους ιστούς, φαινομένων συγκόλλησης μορίων και προσκόλλησης μονοκυττάρων οργανισμών στο αρτηριακό τοίχωμα (Salvi *et al.*, 1999).

2.2.1.1.2 Παραγωγή PMNs (πολυμορφοπυρηνικών λευκοκυττάρων).

Η παρουσία σωματιδιακών ρύπων (PM) και όζοντος (O_3) στους κυψελοειδείς μακροφάγους είναι πιθανόν να οδηγεί σε ερεθιστικές αντιδράσεις των πνευμόνων. Μέσα από έρευνες έχει αποδειχθεί ότι μιας ώρας έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις εκπομπών, προερχόμενες από την καύση πετρελαίου, μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολές της λειτουργίας των πνευμόνων με συνέπεια τη διέγερση του νωτιαίου μυελού των οστών και την παραγωγή κυτοκινών (IL-6). Αυτές είναι άμεσα υπεύθυνες

για την απελευθέρωση ασχημάτιστων πολυμορφοπυρηνικών λευκοκυττάρων (PMNs), T και B λεμφοκυττάρων στο αίμα, όπως και άλλων ερεθιστικών παραγόντων (Routledge *et al.*, 2003).

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι πληθυσμοί της Νοτιανατολικής Ασίας, που ήταν εκτεθειμένοι σε υπερβολικές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου, προερχόμενες από τις μεγάλες πυρκαγιές το καλοκαίρι του 1997, παρουσίασαν σημαντική αύξηση πολυμορφοπυρηνικών κυττάρων στη σύσταση του αίματος τους (Routledge *et al.*, 2003). Αντίστοιχα αποτελέσματα εμφανίστηκαν σε πειράματα με κουνέλια, τα οποία έλαβαν την ποσότητα των 5μg PM₁₀ ενδοφαρυγγικά δύο φορές την ημέρα και για τρεις εβδομάδες. Αποτέλεσμα της συγκεκριμένης έρευνας, ήταν η ανίχνευση μορίων σωματιδίων που ήταν προσκολλημένα στους κυψελοειδείς μακροφάγους, στον κυτταρικό επιθηλιακό ιστό και στα τοιχώματα ανώτερων αναπνευστικών οδών (εικόνα 2.1). Το γεγονός αυτό προκάλεσε την αύξηση της παραγωγής PMNs, αιμοπεταλίων και ερεθισμένων κυττάρων στο νωτιαίο μυελό των οστών, όπως και την άμεση απελευθέρωση τους στην κυκλοφορία του αίματος (Suwa *et al.*, 2002).



Εικόνα 2.1 : Μικροφωτογραφία προσκόλλησης και σταθεροποίησης συκέντρωσης φορμόλης και παραφινικών ενώσεων στο πνευμονικό ιστό των κουνελιών, χρωματισμένη με αιματοξυλίνη-eosin. Ένας κυψελιδικός μακροφάγος, ο οποίος περιέχει αιωρούμενα σωματίδια (< 10 μm) σε ποσοστό πάνω από το 5% της συνολικής κυτοπλασματικής του επιφάνειας (Πηγή: Suwa *et al.*, 2002).

2.2.1.1.3 Αρτηριακή αγγειοσυστολή – Ενδοθηλιακή δυσλειτουργία.

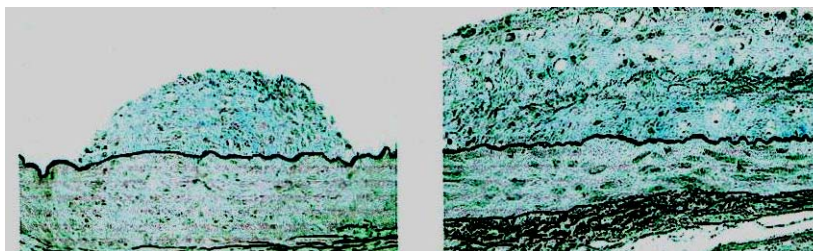
Έχει βρεθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων αυξάνουν την αρτηριακή πίεση του αίματος σε ασθενείς που έχουν υποβληθεί σε καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις, όπως και σε ασθενείς που πάσχουν από διάφορες παθήσεις του πνεύμονα. (A.H.A., 2004). Επίσης, σε πειραματικές μελέτες σε σκύλους που εκτέθηκαν σε σωματιδιακούς ρύπους, ανιχνεύτηκαν υψηλές τιμές συμπίεσης της κατάστασης ST (Bhatnagar, 2004). Η εισπνοή για δύο μόνο ώρες ατμοσφαιρικών ρύπων σε μεγάλα αστικά κέντρα, κυρίως υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων και όζοντος, μπορεί να προκαλέσει αρτηριακές αγγειοσυστολές ακόμη και σε υγιείς πληθυσμούς. Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι οι μικρές πνευμονικές αρτηρίες των αρουραίων υπόκεινται σε συστολή μετά από μια, μικρής χρονικής διάρκειας, έκθεση σε σωματιδιακούς ρύπους. Ο οξύς συστηματικός ερεθισμός και η οξειδωτική πίεση είναι οι πιο πιθανές αιτίες πρόκλησης της ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας, η οποία μπορεί και να μεταβεί σε αγγειοσυστολή. Αξίζει να

σημειωθεί ότι έχει βρεθεί σε αγγεία ασθενών, όπου εκτέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις εκπομπών καύσης πετρελαίου, υψηλός βαθμός ενδοθηλιακής αρτηριακής χαλάρωσης (Α.Η.Α., 2004).

2.2.1.1.4 Αρτηριοσκλήρυνση – Ρήξη καρδιαγγειακής πλάκας – Θρόμβωση.

Έχει παρατηρηθεί ότι η έκθεση στους αέριους ρύπους, εξαιτίας της πρόκλησης συστηματικής οξείδωσης στους πνεύμονες, συντελεί στο σχηματισμό αρτηριοσκλήρυνσης πολύ πιο αργά από ότι συντελεί στην υποκίνηση φαινομένων αστάθειας και ρήξης της καρδιαγγειακής πλάκας, με άμεση συνέπεια τη θρόμβωση και την πρόκληση οξέος στεφανιαίου συνδρόμου. Εργαστηριακές έρευνες, που έχουν γίνει σε αυτή την κατεύθυνση, με υπερλιπιδιμικά κουνέλια να εκτείνονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακών ρύπων έδειξαν ότι η διαδικασία της αρτηριοσκλήρυνσης της στεφανιαίας αρτηρίας ξεκίνησε ύστερα από 4 εβδομάδες. Επίσης, ο βαθμός του σχηματισμού πλάκας συσχετίστηκε με τον αριθμό των κυψελιδικών μακροφάγων, τα οποία συμμετείχαν στη φαγοκύτωση των ρύπων. Οι παραπάνω παράγοντες θεωρούνται υπεύθυνοι για την πρόκληση σοβαρών παθήσεων της καρδιάς και είναι σοβαρότεροι από άλλους, όπως της ηλικίας, της υπέρτασης, της υπερλιπιδεμίας και του διαβήτη. Στην εικόνα 2.2 απεικονίζονται επικαθίσεις στον αρτηριακό ιστό των κουνελιών από πολυμορφοπυρηνικά κύτταρα, αιμοπετάλια και ερεθισμένα κύτταρα (Suwa *et al.*, 2002).

Οξέα επεισόδια αρτηριακής αγγειοσυστολής, με πιθανές ενδοθηλιακές δυσλειτουργίες, είναι ικανά να υποκινήσουν οξέα στεφανιαία σύνδρομα είτε εξαιτίας της πρόκλησης αστάθειας της καρδιαγγειακής πλάκας είτε εξαιτίας της μείωσης της λειτουργίας του μυοκαρδίου ασθενών με προδιάθεση αρτηριοσκλήρυνσης (Α.Η.Α., 2004).



Εικόνες 2.2: Μικροφωτογραφίες επικαθίσεων στον αρτηριακό ιστό των κουνελιών πολυμορφοπυρηνικών κυττάρων, αιμοπεταλίων όπως και μερικών ερεθισμένων κυττάρων (Πηγή: Suwa *et al.*, 2002).

2.2.1.2 Άμεσες επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων.

2.2.1.2.1 Αύξηση ινωδογόνου.

Οι άμεσες επιδράσεις προέρχονται από αέριους και μικρού μεγέθους σωματιδιακούς ρύπους που καταφέρνουν να διαπερνούν τον πνευμονικό επιθηλιακό ιστό με αποτέλεσμα να εισέρχονται απευθείας στο κυκλοφορικό σύστημα μέσω του αίματος. Ο ερεθισμός των κυψελοειδών του πνεύμονα προϋποθέτει την αύξηση της παρουσίας

κυτταρικών και βιοχημικών δεικτών ερεθισμού στη σύσταση του αίματος, η οποία και μεταβάλλεται σημαντικά, ενώ το συκώτι αυξάνει την παραγωγή ινωδογόνου (ενός βασικού παράγοντα ρύθμισης του ιξώδους). Η παρουσία της ουσίας αυτής σε τέτοιου είδους ασθένειες είναι καταλυτική, με αποτέλεσμα τα ανιχνεύσιμα επίπεδα της συγκέντρωσης της, μαζί με την ηλικία του ασθενή, να είναι οι σημαντικότεροι δείκτες της σοβαρότητας της κατάστασης. Η μεταβολή του ιξώδους του αίματος, ως άμεση επίπτωση της επίδρασης των ρύπων, οδηγεί στη στένωση των αγγείων των στεφανιαίων αρτηριών, με τελικό αποτέλεσμα την πρόκληση θρόμβωσης και οξέος εμφράγματος (Junker *et al.*, 1998).

Υψηλά επίπεδα ινωδογόνου επηρεάζουν τη μεταφορά του οξυγόνου στο ισχαιμικό μυοκάρδιο. Κατά την κυκλοφορία του αίματος ο κίνδυνος συνάθροισης ανεπιθύμητων κυττάρων και αιμοπεταλίων αυξάνεται σημαντικά και προμηνύει την εμφάνιση οξέων καρδιαγγειακών επεισοδίων και εγκεφαλικών. Η αύξηση του ιξώδους του αίματος, μέσω αύξησης της παραγωγής της συγκεκριμένης ουσίας, έχει συσχετιστεί με την άμεση εμφάνιση οξέων καρδιαγγειακών επεισοδίων. Επίσης, συνοδεύεται από την αύξηση της συγκέντρωσης συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) και το διοξείδιο του θείου (SO₂), στην ατμόσφαιρα. Η συσσώρευση αιμοπεταλίων στην κυκλοφορία του αίματος, η οποία ευθύνεται για οξέα περιστατικά θρόμβωσης, έχει συσχετιστεί με αυξημένα επίπεδα ρύπων προερχόμενα κυρίως από εστίες καύσης κινητήρων πετρελαίου (Α.Η.Α., 2004).

2.2.1.3 Αυτόματος καρδιακός έλεγχος.

Έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση του αριθμού των σφυγμών στον ανθρώπινο οργανισμό σχετίζεται θετικά με διάφορα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τον Ιανουάριο του 1985, σε ένα σοβαρό επεισόδιο ρύπανσης σε περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης, παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός της καρδιάς, σε πάνω από 3000 περίπου περιπτώσεις ανθρώπων, είχε θετική συσχέτιση με υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀). Ο τόνος του κτύπου και της παύσης της καρδιάς σε συνδυασμό με την πίεση του αίματος διαμορφώνονται μέσα από την ισορροπία δυο καθοριστικών παραγόντων για την αυτονομία του: του συμπαθητικού (sympathetic) και του παρασυμπαθητικού (parasympathetic) νευρικού συστήματος. Μια οποιαδήποτε μεταβολή του ρυθμού της καρδιάς, σε συνδυασμό με την αυξομείωση του συμπαθητικού παράγοντα, μπορεί να συσχετιστεί με την αύξηση εμφάνισης καρδιαγγειακών επεισοδίων, όπως και αιφνίδιων θανάτων (Α.Η.Α., 2004).

Αιωρούμενα σωματίδια που εισπνέονται από τον ανθρώπινο οργανισμό μπορούν να επιδράσουν άμεσα στην αυτονομία του νευρικού συστήματος, προκαλώντας αντιδραστικό στρες στο συμπαθητικό σύστημα, ή έμμεσα, μέσω της παραγωγής οξειδωτικών κυτοκινών στον πνεύμονα και της απελευθέρωσης τους στη κυκλοφορία του αίματος (Magari *et al.*, 2001). Χωρίς να έχουν διασαφηνιστεί οι ακριβείς μηχανισμοί με τους οποίους επηρεάζεται ο αυτόνομος έλεγχος της καρδιάς, υπάρχουν αρκετές ενδείξεις ερευνών που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η επίδραση τους προκαλεί ισχαιμικά και μυοκάρδια επεισόδια στον άνθρωπο και στα ζώα (Bhatnagar, 2004).

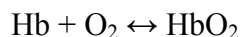
Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιταχύνεται ο ρυθμός κτύπου της καρδιάς και διαταράσσεται η αυτονομία ελέγχου του νευρικού

συστήματος, με αποτέλεσμα την υπερδιέγερση του μυοκαρδίου και την αύξηση των αρρυθμιών. Σημαντική συσχέτιση παρατηρήθηκε ανάμεσα στην εμφάνιση επεισοδίων αρρυθμίας σε ομάδες ατόμων υψηλού κινδύνου (που φέρουν βηματοδότη) και την έκθεση τους σε αυξημένα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5}, διότι προκάλεσαν μεταβολές στην ηλεκτρική φυσιολογία της καρδιάς. Ο αριθμός ηλικιωμένων ανθρώπων με μειωμένο αυτόνομο έλεγχο της καρδιάς τους αυξάνεται, σε μια αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την πρόκληση αιφνίδιων θανάτων είτε από ταχυκαρδία είτε από βραδυκαρδία (A.H.A., 2004).

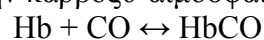
Μελέτες σε σκυλιά, με αποδεδειγμένες παθήσεις στις στεφανιαίες τους αρτηρίες, έχουν δείξει ότι ύστερα από μια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων διαπιστώνεται μια σταδιακή αύξηση του αντιδραστικού στρες στο συμπαθητικό νευρικό σύστημα. Κάτι ανάλογο παρατηρείται και σε υπερτασικούς αρουραίους, ως άμεση αντίδραση στη διατάραξη της λειτουργίας του νευρικού συστήματος της καρδιάς τους (Routledge, 2003).

2.2.1.4 Μονοξείδιο του άνθρακα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ικανό να επηρεάσει σημαντικά τον αερόβιο μεταβολισμό του ανθρώπου εξαιτίας της υψηλής του έλξης με την αιμοσφαιρίνη, τη χημική ουσία των ερυθρών αιμοσφαιρίων που μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες και το αποδίδει στους ιστούς. Η έλξη αυτή είναι από 210 έως 250 φορές ισχυρότερη από την τάση που έχει το οξυγόνο να ενωθεί με την αιμοσφαιρίνη με αποτέλεσμα, αντί να σχηματίζεται η οξυ-αιμοσφαιρίνη, να σχηματίζεται η καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη :



Όταν η αιμοσφαιρίνη έλθει σε επαφή με το οξυγόνο (O₂) σχηματίζεται η οξυ-αιμοσφαιρίνη, η οποία μεταφέρει το οξυγόνο στους ιστούς για τις αναγκαίες καύσεις του οργανισμού. Το μονοξείδιο του άνθρακα, ακόμα και όταν βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, ανταγωνίζεται τη δέσμευση του οξυγόνου από τη, αιμοσφαιρίνη παράγοντας την καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη : (Manahan, 2000)



Εκτός από τη δέσμευση της αιμοσφαιρίνης υπάρχει και η δέσμευση της μυοσφαιρίνης, όπου η αποδόμηση της οδηγεί σε παραγωγή μυοσφαιρινούριων. Η ποσότητα του μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα εκφράζεται με το πηλίκο του ποσοστού της δεσμευμένης αιμοσφαιρίνης προς το αντίστοιχο της παραγόμενης καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης. Η απορρόφηση από τον οργανισμό του μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται μέσω της αύξησης της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα, της αύξησης της διάρκειας έκθεσης του ανθρώπου σε αυτό, όπως και της αύξησης του ρυθμού αναπνοής (Κωτσοβίνου, 1992).

Τα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα αναφέρουν, ότι μια έκθεση 8, ή περισσότερων ωρών, σε μια συγκέντρωση CO από 12 έως 17 χιλιοστογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (mg/m³), θα προξενήσει στο αίμα την εμφάνιση της ουσίας καρβοξυ-αιμοσφαιρίνη στα επίπεδα του 2 με 2,5%, όπως και μια 8ωρη έκθεση σε μια συγκέντρωση των 35 mg/m³ θα προξενήσει την εμφάνιση της ουσίας στο αίμα, στα επίπεδα του 5%. Στο καθαρό αίμα του ανθρώπου αναπτύσσεται από μόνη της μια μικρή ποσότητα καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης, της τάξης του 0,5%, που οφείλεται στη φυσική καταστροφή των μορίων της αιμοσφαιρίνης (Boudel *et al.*, 1994).

Έχει παρατηρηθεί ότι η απορρόφηση του μονοξειδίου του άνθρακα από τον ανθρώπινο οργανισμό επηρεάζει σημαντικά το σύστημα των ενζύμων και την οξυγόνωση των ιστών. Επίσης επηρεάζει την ανθρώπινη συμπεριφορά και την κίνηση και σχετίζεται με καρδιαγγειακές παθήσεις. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους, ζαλάδες, ίλιγγους, ασφυξία μέχρι και θάνατο. Σε μικρότερες συγκεντρώσεις του μια πιθανή αλλαγή της ανθρώπινης συμπεριφοράς, η οποία μπορεί να προέρχεται από τη μεταβολή σημαντικών λειτουργιών του οργανισμού, εμφανίζεται είτε με διαταραχές στο νευρικό σύστημα είτε με επιδείνωση στο χρονικό διάστημα διάκρισης, οπτικής άμβλυνσης και ικανότητας αντίληψης κάποιων καταστάσεων. Για παράδειγμα, υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα σε αυτοκινητόδρομους, μπορεί να επηρεάσουν τόσο πολύ τις αντιδράσεις ενός οδηγού με αποτέλεσμα μέχρι και την πρόκληση ατυχήματος (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Ιδιαίτερα επιβαρημένη είναι η κατάσταση ανάμεσα σε ασθενείς με χρόνιες καρδιοπνευμονικές παθήσεις, οι οποίοι εκτείνονται ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η καρδιά του ανθρώπου είναι πιο ευαίσθητη στην έλλειψη οξυγόνου, διότι ενώ οι περιφερειακοί ιστοί του σώματος παίρνουν περίπου το 25% από το οξυγόνο του αίματος των αρτηριών, ο καρδιακός μυς χρειάζεται τριπλάσια ποσότητα για τη σωστή λειτουργία του. Επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν μια σημαντική εμφάνιση μονίμων καρδιακών παθήσεων από παρατεταμένες εκθέσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις CO το οποίο δείχνει να ευθύνεται, κατά παρόμοιο τρόπο με τη χοληστερόλη, για τη δημιουργία ενός λιπαρού στρώματος πάνω στα αιμοφόρα αγγεία (αθηρωματική πλάκα) και την τάση συγκόλλησης των αιμοπεταλίων μεταξύ τους. Ωστόσο, υπάρχουν επιδημιολογικά στοιχεία τα οποία δείχνουν συσχέτιση ανάμεσα σε εισαγωγές ατόμων που εισήχθησαν σε νοσοκομεία από έμφραγμα του μυοκαρδίου και στην έκθεσή τους σε μέσες εβδομαδιαίες συγκεντρώσεις CO από 9 έως 16 mg/m³ (8-14 ppm) (Γεντεκάκης, 2003).

Σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα προκαλούνται συγκεκριμένα συμπτώματα στον άνθρωπο εξαιτίας της έκθεσης του στο μονοξείδιο του άνθρακα, τα οποία σχετίζονται άμεσα με το ποσοστό της καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης στο αίμα (πίνακας 2.1) (Boudel *et al.*, 1994).

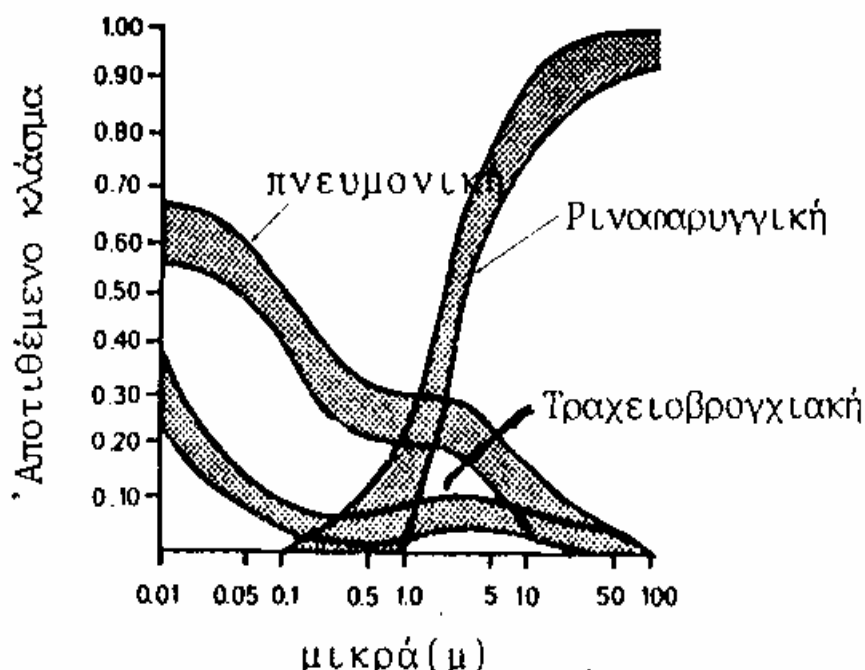
Πίνακας 2.1 : Ανθρώπινα συμπτώματα από την έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα.

Ποσοστό καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης στο αίμα (CoHb%)	Ανθρώπινα συμπτώματα
80	Θάνατος
60	Απώλεια συνείδησης, θάνατος (εάν τα επίπεδα αυτά παραμείνουν)
40	Κατάρρευση δυνάμεων, σύγχυση
30	Πονοκέφαλος, κόπωση
20	Καρδιαγγειακές παθήσεις
5	Μείωση του οπτικού φάσματος, των επιδεξιότητων, εκτέλεση περιέργων αισθητικοκινητικών αντιδράσεων
4	Μείωση ετοιμότητας, εργασιακής απόδοσης σε υγιείς αλλά και σε ασθενείς χρόνιων καρδιοπνευμονικών προβλημάτων
3 έως 6	Επιδείνωση καρδιαγγειακών βλαβών, μείωση εργασιακής ικανότητας σε ασθενείς με στεφανιαίο σύνδρομο όπως και περιφερειακά φαινόμενα αρτηριοσκλήρυνσης

2.2.1.5 Αιωρούμενα σωματίδια (PM).

Τα αιωρούμενα σωματίδια, ανάλογα με το μέγεθος τους, εισέρχονται μέχρι τη ρινική, την τραχειοβρογχική κοιλότητα, κάποιους πρώτους βρόχους του πνεύμονα, όπως και μέχρι τις πνευμονικές κυψελίδες. Τα μεγαλύτερα σωματίδια, διαμέτρου από 7 έως 10 μικρομέτρων (PM₁₀), κατακάθονται στη γη σχετικά γρήγορα εξαιτίας του βάρους τους. Τα μικρότερα σωματίδια, διαμέτρου μέχρι 2,5 μικρομέτρων (PM_{2.5}), μένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα πριν κατακαθίσουν στο έδαφος, ενώ τα πολύ μικρά σωματίδια, διαμέτρου μέχρι 0,1 μικρομέτρων (UFP), μπορεί να αιωρούνται διαρκώς έως κάπου να προσροφηθούν ή να συσσωματωθούν μεταξύ τους σε μεγαλύτερα μεγέθη. Σωματίδια μικρότερα του ενός μικρομέτρου εισέρχονται ευκολότερα στον ανθρώπινο οργανισμό και είναι σχεδόν αδύνατο να αποβληθούν από αυτόν (Κωτσοβίνου,1992).

Στο διάγραμμα 2.2 απεικονίζεται το κλάσμα σωματιδίων που αποτίθενται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου σε συνάρτηση με το μέγεθος τους.



Διάγραμμα 2.2 : Απόθεση αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό (Πηγή : Κωτσοβίνου, 1992).

Ο αέρας που εισπνέεται από τα ρουθούνια, αρχικά φιλτράρεται από ένα σύστημα τριχοειδών ινών της μύτης, συγκρατώντας έτσι τα μεγαλύτερα σωματίδια από το να εισέλθουν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Στη συνέχεια, ο αέρας φτάνει σε τρεις προεξοχές καλυμμένες με μια βλενώδη μεμβράνη και η δίοδος του χωρίζεται σε μικρότερα κανάλια που προκαλούν αλλαγές στη διεύθυνση της ροής του, με συνέπεια κάποια σωματίδια να προσκρούουν πάνω στη μεμβράνη και να προσκολλώνται σε αυτήν. Όταν ο αέρας φτάσει στο φάρυγγα είναι θερμός, περιέχει υγρασία και έχει καθαρισθεί από σωματίδια μεγαλύτερα των 10 μm . Το υπόλοιπο των αερίων οδών μέσα στους πνεύμονες θεωρείται ένα σύστημα σωλήνων διανομής του αέρα, με μεγαλύτερο αυτό της τραχείας. Η εσωτερική της επιφάνεια καλύπτεται από ένα εξειδικευμένο κυτταρικό στρώμα, το κροσσωτό επιθήλιο, στο οποίο τα κύτταρα εκκρίνουν διαρκώς βλέννα που κινείται προς ανώτερα επίπεδα του αναπνευστικού συστήματος, μέσω κινούμενων μαστιγίων. Σωματίδια μεγέθους από 2 έως 10 μm (PM_{10}) παγιδεύονται στο κολλώδες αυτό στρώμα και μεταφέρονται έξω από τους πνεύμονες, κάτι που συμβαίνει και στα σωματίδια που προηγουμένως παγιδεύτηκαν στη μύτη, συνήθως μέσω φτερνίσματος και βήχα. Κάποια σωματίδια, μικρότερου μεγέθους, καταφέρνουν και εισέρχονται στις κυψελίδες των πνευμόνων αποφεύγοντας τη βλέννα που εκκρίνει ο οργανισμός και καταλήγουν σε μια περιοχή όπου δεν υπάρχουν μαστίγια και μπορούν να εγκατασταθούν. Εκεί προκαλούν τοπικό ερεθισμό στον πνεύμονα, κάτι που μπορεί να εξελιχθεί σε συστηματικό τοπικό ερεθισμό, με δυσμενείς συνέπειες για αυτόν και για την καρδιά. Εκεί, εξειδικευμένα κύτταρα των κυψελιδικών μακροφάγων, τα φαγοκύτταρα, μέσα σε λίγες ώρες περιβάλλουν και παγιδεύουν κάποια από τα σωματίδια και μέσω της βλέννας, που παράλληλα εκκρίνεται, τα απομακρύνουν έξω από τον οργανισμό. Μερικά όμως σωματίδια καταφέρνουν να εισέρχονται μέσα από το τοίχωμα των κυψελίδων, όπου παραλαμβάνονται από το λυμφατικό σύστημα (Κωτσοβίνου, 1992).

Κατά την ταξινόμηση, για τις αστικές περιοχές, των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5}), μεγέθους από 0,1 έως 2,5 μm, σε τρεις βασικές κατηγορίες έχουμε:

- Τα κρυσταλλικά τα οποία περιέχουν στοιχεία πυριτίου (Si), που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης αυτής της κατηγορίας, αργίλου, σιδήρου, ασβεστίου και καλίου. Τα σωματίδια αυτής της κατηγορίας προέρχονται κυρίως από μηχανικές δραστηριότητες, από κονιοποιήσεις μεγαλύτερων μεγεθών σωματιδίων (PM₁₀), από την σκόνη των δρόμων, από το χώμα κ.ά.

- Τα σωματίδια κινητών πηγών, τα οποία περιέχουν κατά βάση στοιχεία μολύβδου (Pb), που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης της κατηγορίας, βρώμιου, χαλκού και νικελίου. Τα σωματίδια αυτής της κατηγορίας κυρίως προέρχονται από εκπομπές βενζινοκίνητων οχημάτων.

- Τα σωματίδια άνθρακα, τα οποία περιέχουν κατά βάση στοιχεία σεληνίου (Se), που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης της κατηγορίας, θείου, βαναδίου, μαγνησίου, καλίου. Τα σωματίδια αυτής της κατηγορίας προέρχονται κυρίως από σταθερές εστίες καύσης των μεγαλουπόλεων (κεντρικών θερμάνσεων, βιομηχανίες).

Οι επιδράσεις στην ανθρώπινη θνησιμότητα από τα σωματίδια κρυστάλλων, όπως ανιχνεύεται μέσα από τα αποτελέσματα μιας σειράς ερευνών, είναι σχεδόν μηδαμινές κάτι που αποδεικνύει ότι, σε αντίθεση με τα σωματίδια τα οποία προέρχονται από διεργασίες καύσης, αυτή η κατηγορία δεν είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Το γεγονός αυτό, όπως φαίνεται να επαληθεύουν σε μια σειρά ερευνών οι Ozkaynak *et al.*, (1987), Schwartz *et al.*, (1999, 2000), Pope *et al.*, (1999), υποδεικνύει ότι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀), τα οποία έχουν μεγάλα ποσοστά στοιχείων στην σύστασή τους τα οποία προέρχονται από αυτή την κατηγορία πηγών, δεν σχετίζονται με την ανθρώπινη θνησιμότητα τουλάχιστον στο βαθμό που σχετίζονται τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}).

Έχει επίσης αποδειχθεί, μέσα από αρκετές μελέτες, ότι σωματίδια τα οποία προέρχονται από σταθερές εστίες καύσης συσχετίζονται περισσότερο με αναπνευστικά προβλήματα σε αντίθεση με αυτά των κινητών πηγών, τα οποία δείχνουν προτίμηση στα καρδιαγγειακά επεισόδια (Laden *et al.*, 2000). Κάτι αντίστοιχο επαληθεύεται από τον Amdur, (1996), όπου το θείο (κύριο συστατικό στοιχείο της πρώτης κατηγορίας), σε μορφή αέριου ρυπαντή (SO₂, H₂SO₄), συσχετίζεται συχνά με την παρουσία αναπνευστικών παθήσεων σε μεγαλουπόλεις.

Η παρουσία διαλυμένων μετάλλων μέσα στα αιωρούμενα σωματίδια ενισχύει ακόμη περισσότερο τις ερεθιστικές αντιδράσεις του πνεύμονα (Johnson *et al.*, 1997). Μελέτες έχουν δείξει ότι η παρουσία μετάλλων, όπως το νικέλιο (Ni), στα αιωρούμενα σωματίδια και ιδιαίτερα όταν αυτά προέρχονται από υπολείμματα αιωρούμενης τέφρας, συσχετίζονται με φαινόμενα εξασθένησης της καρδιάς ενώ η παρουσία βαναδίου (V) και μολύβδου (Pb) (ιδιαίτερα σε εργαζόμενους σε καμίνια) συσχετίζεται με αρρυθμίες. Η έκθεση, επίσης, σε σωματίδια που περιέχουν κάδμιο (Cd) έχει συσχετιστεί με την αύξηση της αρτηριακής πίεσης στο ανδρικό φύλο, σε μαϊμούδες και σε κουνέλια (Bhatnagar, 2004).

Κλινικές, επιδημιολογικές και τοξικολογικές μελέτες απέδειξαν ότι η έκθεση στο μόλυβδο επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία. Τρία από τα βασικότερα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού (το αιμοποιητικό, το νευρικό και το νεφρικό) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο μόλυβδο. Σημαντικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, όπως

της αναπαραγωγής των ενδοκρινών αδένων, του ήπατος, της καρδιάς, του ανοσοποιητικού και γαστρεντερικού συστήματος μπορούν επίσης να επηρεαστούν σημαντικά από το μόλυβδο (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα υπάρχουν συγκεκριμένα συμπτώματα από την έκθεση του ανθρώπου στα αιωρούμενα σωματίδια (πίνακας 2.2) (Boudel *et al.*, 1994).

Πίνακας 2.2 : Ανθρώπινα συμπτώματα από την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀).

Συγκέντρωση ρύπου PM (μg/m ³)	Χρόνος Έκθεσης	Ανθρώπινα συμπτώματα
750	-	Σημαντική ένταση ασθενειών
350	24 hr	Οξεία επιδείνωση ασθενειών με χρόνια βρογχίτιδα
150	24 hr	Αυξημένες απουσίες βιομηχανικών εργατών
90	24 hr	Αύξηση αναπνευστικών ασθενειών σε παιδιά
55	24 hr	Αύξηση κινδύνου αναπνευστικών ασθενειών
50	Ετήσιος γεωμετρικός μέσος	Αύξηση του ρυθμού θανάτων για ηλικίες άνω των 50 ετών

2.2.1.6 Διοξείδιο του θείου (SO₂).

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα αέριο ευδιάλυτο στο νερό και έτσι απορροφάται εύκολα από τη βλέννα των ρινικών κοιλοτήτων του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Η πρώτη αντίδραση μετά από την εισπνοή αέρα που περιέχει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του θείου είναι η έκκριση βλέννας για την απορρόφηση του, η οποία προκαλεί σοβαρή αντίσταση στην αναπνοή. Οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται ένα ελαφρύ σφίξιμο στην περιοχή του άνω αναπνευστικού συστήματος. Οι επιπτώσεις του ρύπου αυξάνονται με την παρουσία άλλων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα με τα αιωρούμενα σωματίδια. Αυτά βοηθούν το διοξείδιο του θείου να φτάσει εύκολα στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (Μάλλιαρος, 2000).

Μεγάλες συγκεντρώσεις του ρύπου στην ατμόσφαιρα παραλύουν και διαβρώνουν διάφορα όργανα, ενώ μικρότερες συγκεντρώσεις προξενούν μακροχρόνια εκφυλιστικά φαινόμενα σε κύτταρα πυρηνικών οξέων (DNA, RNA) με την πιθανότητα εμφάνισης μακροπρόθεσμα καρκίνου. Έχει παρατηρηθεί μια αύξηση των αναπνευστικών μολύνσεων εξαιτίας του μεγάλου ποσού βλέννας που χάνεται μετά την είσοδο του ρύπου στον οργανισμό με αποτέλεσμα να παραμένει ελάχιστη για να απομακρύνει τα βακτήρια έξω από αυτόν (Κωτσοβίνου, 1992).

Όταν εισπνέεται μαζί με σωματίδια σιδήρου, μαγγανίου και βαναδίου, τα οποία λαμβάνουν ρόλο καταλύτη προς την οξειδωση και μετατροπή του σε σταγόνες θειικού οξέος μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό, τότε οι επιπτώσεις είναι ακόμη πιο σημαντικές. Το διοξείδιο του θείου, το θειικό οξύ και τα θειικά άλατα ερεθίζουν

σοβαρά τη βλεννογόνο του αναπνευστικού συστήματος με αποτέλεσμα να ευνοείται η ανάπτυξη αναπνευστικών παθήσεων, όπως χρόνιας βρογχίτιδας, πνευμονικού εμφυσήματος κ.ά. (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003).

Σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα υπάρχουν συγκεκριμένα συμπτώματα εξαιτίας της έκθεσης του ανθρώπου στο διοξείδιο του θείου (2.3) (Boudel *et al.*, 1994).

Πίνακας 2.3 : Ανθρώπινα συμπτώματα από την έκθεση σε διοξείδιο του θείου (SO₂).

Συγκέντρωση ρύπου SO ₂ ppm	Χρόνος Έκθεσης	Ανθρώπινα συμπτώματα
400 (783200 µg/m ³)	-	Πνευμονικό οίδημα, βρογχικός ερεθισμός
20 (39160 µg/m ³)	-	Ερεθισμός ματιών, βήχας σε υγιή παιδιά
15 (29370 µg/m ³)	1hr	Ελάττωση της βλεννώδους δράσης
10 (19580 µg/m ³)	10 min	Βρογχικοί σπασμοί
8 (15664 µg/m ³)	-	Ερεθισμός λαιμού σε υγιή παιδιά
5 (9790 µg/m ³)	10 min	Αύξηση αντίστασης των αεραγωγών σε υγιή παιδιά
1 (1958 µg/m ³)	10 min	Αύξηση αντίστασης αεραγωγών σε ασθματικούς
0,5 (979 µg/m ³)	10 min	Αύξηση αντίστασης αεραγωγών σε ασθματικούς εν ώρα εργασίας

2.2.1.7 Οξείδια του αζώτου (NO_x).

Το διοξείδιο του αζώτου είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο και προσβάλλει τα μάτια, το βρογχικό σύστημα, το ανώτερο και το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, στα οποία μπορεί και φτάνει με ευκολία εξαιτίας της διαλυτότητας του στο νερό. Στους πνεύμονες προκαλεί καταστροφή αντιδρώντας με τους ιστούς, δημιουργώντας ερεθισμούς κυρίως τα άκρα των βρόγχων και των κυψελίδων, καταστρέφοντας τα μαστίγια και προσβάλλοντας συγκεκριμένες κατηγορίες χημικών ενώσεων, όπως λίπη και πρωτεΐνες. Έχει παρατηρηθεί μια αυξημένη ποσότητα αντισωμάτων πνευμονικού ιστού στη σύσταση του αίματος, μετά από μια εκτεταμένη έκθεση στο ρύπο, κάτι που υποδηλώνει ότι ο πνευμονικός ιστός αλλοιώνεται και το σώμα τον μεταχειρίζεται ως ξένη ουσία. Σε έκθεση μεγαλύτερη από 200 ppm προκαλείται πνευμονικό οίδημα και καταστροφή των περιφερειακών βρογχιολίων. Όταν έλθει σε επαφή με υγρασία, είτε στον αέρα είτε μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό, σχηματίζεται το εξαιρετικά διαβρωτικό νιτρικό οξύ (HNO₃) (Κωτσοβίνου, 1992).

Πειραματόζωα εκτεθειμένα σε μεγάλες συγκεντρώσεις NO έχουν παρουσιάσει σπασμούς στο νευρικό τους σύστημα, όπως και παράλυση του. Υπάρχουν αποδείξεις, με βάση τα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα, για σοβαρή συμμετοχή του διοξειδίου του αζώτου στην εμφάνιση οξείας βρογχίτιδας σε νήπια και παιδιά προσχολικής ηλικίας, όπως και πρόκληση ασθματικών και βρογχιτιδικών επεισοδίων σε ανθρώπους, με

υψηλό βαθμό ευαισθησίας σε αυτά. Σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα υπάρχουν συγκεκριμένα συμπτώματα εξαιτίας της έκθεσης του ανθρώπου στο διοξείδιο του αζώτου (NO₂), όπως αναφέρονται και στον πίνακα 2.4 (Boudel *et al.*, 1994).

Πίνακας 2.4 : Ανθρώπινα συμπτώματα από την έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

Συγκέντρωση ρύπου NO ₂ ppm	Χρόνος Έκθεσης	Ανθρώπινα συμπτώματα
300 (587400 µg/m ³)	-	Ξαφνικός θάνατος
150 (293700 µg/m ³)	-	Θάνατος μετά από δύο ή τρεις εβδομάδες (εξαιτίας βρογχιτιδικών επεισοδίων)
50 (97900 µg/m ³)	-	Μη θανατηφόρα βρογχιτιδικά επεισόδια
10 (19580 µg/m ³)	-	Εξασθένηση της οσφρητικής ικανότητας
5 (9790 µg/m ³)	15 min	Μείωση της κανονικής μεταφοράς οξυγόνου, ανάμεσα στο αίμα και στους πνεύμονες, σε υγιή ενήλικο πληθυσμό
2,5 (4895 µg/m ³)	2 hr	Αύξηση της αντίστασης των αεραγωγών σε υγιή ενήλικο πληθυσμό
1 (1958 µg/m ³)	15 min	Αύξηση της αντίστασης αεραγωγών των βρόγχων
0,12 (234,96 µg/m ³)	-	Όριο αντίληψης, μέσω της όσφρησης, της παρουσίας του ρύπου

2.2.1.8 Όζον (O₃).

Το όζον ασκεί ερεθιστική δράση στον αναπνευστικό βλεννογόνο, προκαλώντας ένα ελαφρό οίδημα, το οποίο εμφανίζεται μετά από την πρώτη ώρα της έκθεσης του οργανισμού σε αυτό και παραμένει για τουλάχιστον 20 ώρες. Ερεθίζει τοπικά τις αναπνευστικές οδούς και κατόπιν εισέρχεται βαθύτερα μέσα στο αναπνευστικό σύστημα. Προκαλεί οξειδωτικές αλλοιώσεις και φλεγμονές, οι οποίες συνοδεύονται από βήχα, άλγος στο στήθος, κεφαλαλγία και δυσφορία. Εξαιτίας της μεγάλης οξειδωτικής του ικανότητας μπορεί να αντιδράσει με ένα μεγάλο εύρος κυτταρικών στοιχείων του βιολογικού υλικού του ανθρώπου :

- μέσω αντιδράσεων του με σουλφουδριλικές ομάδες, αλδεϋδες και αμινο-ομάδες με χαμηλό μοριακό βάρος.
- μέσω αντιδράσεων του με αντιοξειδωτικά όπως βιταμίνες C και E, με το ουρικό οξύ και την ενδοκυτταρική ταυρίνη.
- μέσω αντιδράσεων του με μη κορεσμένα λιπαρά οξέα, από τα οποία σχηματίζονται μεταξύ άλλων υπεροξειδίου του υδρογόνου και αλδεϋδες, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ελευθέρων ριζών και λιπαρών υπεροξειδίων.

Το όζον από μόνο του δεν μπορεί να διαπεράσει τη κυτταρική μεμβράνη με αποτέλεσμα οι βιολογικές επιπτώσεις, στον ανθρώπινο οργανισμό, να προκαλούνται από τη δράση των παραπάνω παραπροϊόντων (Εβρένογλου, 2004).

Το όζον στερεί τους ιστούς από οξυγόνο, παρεμποδίζοντας τη σωστή μεταφορά του σε αυτούς (κατά παρόμοιο τρόπο με το μονοξείδιο του άνθρακα), κάτι που δείχνει να αυξάνεται αντίστοιχα με τη σωματική άσκηση του ατόμου. Έχει ορισμένες φορές άμεσες επιπτώσεις στο μεταβολισμό των χημικών ουσιών του εγκεφάλου, οι οποίες είναι υπεύθυνες της μετάδοσης σημάτων από το ένα νευρικό κύτταρο στο άλλο. Μερικά κύτταρα, τα οποία λαμβάνουν μέρος στην πήξη του αίματος, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο όζον με αποτέλεσμα να απελευθερώνουν χημικές ουσίες, όπως τη σεροτονίνη, κατά την έκθεση του οργανισμού σε αυτόν. Έχουν διαπιστωθεί επίσης και σημαντικές αλλοιώσεις των αιμοσφαιρίων, όπως και διασπάσεις των ανθρώπινων χρωμοσωμάτων κατά την έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε υψηλές συγκεντρώσεις του ρύπου (Κωτσοβίνου, 1992).

Επιδημιολογικές μελέτες συνηγορούν ότι η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος επιφέρει, ακόμα και σε υγιή ενήλικα άτομα, σημαντικές ερεθιστικές αντιδράσεις (Balme *et al.*, 1996) και ζημιές στον επιθηλιακό ιστό του πνεύμονα (Foster *et al.*, 1996), όπως και μείωση της δυνατότητας εκποίησης βλέννας από τον φάρυγγα (Foster *et al.*, 1987). Οι παραπάνω παράγοντες είναι άμεσα υπεύθυνοι για την πρόκληση βακτηριακών μολύνσεων στο αναπνευστικό σύστημα. Πρόσφατες μελέτες αποκαλύπτουν ότι οξειδωτικοί ρύποι, όπως το όζον, αυξάνουν την παραγωγή προοξειδωτικών κυτοκίνων, εξαιτίας της προσβολής των κυττάρων από τον ιό RV16. Κατά αυτόν τον τρόπο επιταχύνεται ο ερεθισμός του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού συστήματος του ασθενή όταν έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον της ατμόσφαιρας. Επιπρόσθετα, το όζον προκαλεί μείωση της κανονικής λειτουργίας του πνεύμονα, αλλοίωση στον όγκο και τη ροή του αέρα και αύξηση της αντίστασης των αεραγωγών του αναπνευστικού συστήματος (Spannhake *et al.*, 2002). Ο ερεθισμός των πνευμονικών ιστών είναι ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς που μπορούν να επιφέρουν αλλοιώσεις της καρδιαγγειακής λειτουργίας ή υποκίνηση παρασυμπαθητικών λειτουργιών (Watkinson *et al.*, 2001).

Σύμφωνα με τα Αμερικάνικα Κριτήρια Ποιότητας του Αέρα υπάρχουν συγκεκριμένα συμπτώματα εξαιτίας της έκθεσης του ανθρώπου στο όζον (πίνακας 2.5) (Boudel *et al.*, 1994).

Πίνακας 2.5 : Ανθρώπινα συμπτώματα από την έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος (O₃).

Συγκέντρωση ρύπου O ₃ ppm	Ανθρώπινα συμπτώματα
10 (19580 µg/m ³)	Διάφορα πνευμονικά οιδήματα, πιθανό οξύ βρογχολιτικό επεισόδιο, μείωση της αρτηριακής πίεσης
1 (1958µg/m ³)	Βήχας, εξάντληση, αύξηση της αντίστασης των αεραγωγών, δυσχέρεια στην πνευμονική λειτουργία
0,5 (979 µg/m ³)	Σύσφιξη στο στήθος, μείωση της πνευμονικής λειτουργίας χωρίς απαραίτητα σωματική άσκηση του εκτιθέμενου
0,3 (587,4 µg/m ³)	Πονοκέφαλος, σύσφιξη στο στήθος με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η ολοκλήρωση ασκήσεων, μείωση της πνευμονική λειτουργίας των ασκούμενων
0,25 (489,5 µg/m ³)	Αύξηση κρουσμάτων άσθματος, μέτριος ερεθισμός ματιών
0,15 (293,7 µg/m ³)	Σε ευαίσθητα άτομα : μείωση της πνευμονικής τους λειτουργίας, αδιαθεσία, λαχάνιασμα, βήχας, ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος

2.2.2 Επιπτώσεις κλιματικών παραμέτρων στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.

2.2.2.1 Παράγοντες επίδρασης.

Μελέτες των τελευταίων δεκαετιών έχουν εστιάσει τις αιτίες πρόκλησης οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου σε διαφορετικούς φυσιολογικούς μηχανισμούς του οργανισμού, όπως παράγοντες προδιάθεσης ρήξης της καρδιαγγειακής πλάκας, υψηλών επιπέδων λιπιδίων στην κυκλοφορία του αίματος, τάσης συσσώρευσης μακροφάγων κυττάρων, χαμηλής περιεκτικότητας μαλακών μυών, εντόνων συγκινησιακών στρες κ.ά. Τα οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου συμβαίνουν κατά τη ρήξη της ινώδους της αθηρωματικής πλάκας, γεγονός που συνήθως ακολουθεί την συσσώρευση αιμοπεταλίων και την παραγωγή θρόμβων. Παράλληλα, σε αρκετές χώρες, τα οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου έχουν εμφανίσει μια εποχικότητα, κάτι που συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες και ιδιαίτερα με τη χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (Moschos *et al.*, 2004).

Σε έρευνες χωρών με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες παρατηρήθηκε μια εποχική διακύμανση στη θνησιμότητα και στη νοσηρότητα από καρδιαγγειακά επεισόδια. Πιθανοί μηχανισμοί του ανθρώπινου οργανισμού που ευθύνονται για την πρόκληση αυτού του γεγονότος, είναι διάφορες θερμορρυθμιστικές αντιδράσεις της αρτηριακής πίεσης εξαιτίας του ψύχους. Μπορεί να επέλθουν καταστάσεις επικίνδυνες για την πρόκληση θρόμβωσης μέσω της αύξησης των αιμοπεταλίων, του ιξώδους του αίματος, όπως και της παραγωγής της χημικής ουσίας ινωδογόνου στην κυκλοφορία του, (καταστάσεις που υπό κανονικές συνθήκες συνδέονται μόνο με ηλικιωμένους ανθρώπους) (Chang, 2004). Στην αυξημένη συχνότητα οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου, κατά την περίοδο του χειμώνα, συνεισφέρουν σημαντικά κλιματικοί παράγοντες και βιοχημικές διαταραχές του οργανισμού. Φαινόμενα όπως η αλλοίωση του τόνου του συμπαθητικού νευρικού συστήματος, η υψηλή αρτηριακή πίεση, η

μεγάλη κατανάλωση οξυγόνου από το μυοκάρδιο, ο υψηλός αριθμός αιμοπεταλίων, η παρουσία του παράγοντα IV και του ινωδογόνου, εμφανίζουν μεγαλύτερη συχνότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Moschos *et al.*, 2004).

Έχει διαπιστωθεί από αρκετούς ερευνητές ότι στην αύξηση της θνησιμότητας από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου κατά την περίοδο του χειμώνα ευθύνεται η επίδραση της διαφοράς στη φωτοπερίοδο (μειωμένος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας) (Douglas *et al.*, 1991). Κάποιοι άλλοι ερευνητές αποδίδουν την παραπάνω συσχέτιση στην αύξηση της αρτηριακής πίεσης, στη συσσώρευση αιμοπεταλίων, στον ερεθισμό του συμπαθητικού συστήματος του ανθρώπου, όπως και άλλων φυσιολογικών λειτουργιών του οργανισμού που μπορούν να συμβούν εξαιτίας της μείωσης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (Woodhouse *et al.*, 1994). Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται σημαντικά αυξημένοι κατά τους ψυχρούς μήνες του χειμώνα, κάποιοι δείκτες μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό, οι οποίοι αποτελούν προπομπούς εμφάνισης ασταθούς στηθάγχης, όπως η C- αντιδρώσα πρωτεΐνη, το ινωδογόνο, και ο παράγοντας VII (Thompson *et al.*, 1995).

Ενδιαφέρον όμως προκαλεί το γεγονός ότι μέσα στις περιφέρειες Η.Π.Α., ανάμεσα σε ψυχρές και θερμές περιοχές, η εποχιακή διακύμανση της νοσηρότητας από καρδιαγγειακά επεισόδια, κατά την επίδραση ακραίων καιρικών συνθηκών χειμώνα και καλοκαιριού, να είναι η ισοσταθμισμένη. Παράλληλα κάτι παρόμοιο έχει παρατηρηθεί ανάμεσα σε χώρες διαφορετικών ηπείρων, όπως στο Κουβέιτ και στη Σκοτία. Αυτό δείχνει ότι οι πολίτες των χωρών αυτών έχουν προσαρμοστεί στις τοπικές ιδιομορφίες του κλίματος της περιοχής τους και η όποια έξαρση καρδιαγγειακών επεισοδίων που εμφανίζεται κατά τη χειμερινή περίοδο, οφείλεται περισσότερο στη γενικότερη μείωση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και λιγότερο σε αυτές καθ' αυτές τις χαμηλές εξάρσεις της (Sharovsky *et al.*, 2004).

Μετά την προσθήκη κλιματικών παραμέτρων, τα αποτελέσματα ενός υποδείγματος έδειξαν μια ισχυρή σχέση ανάμεσα στην αύξηση της θνησιμότητας και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε σχήμα V), εμφανίζοντας τις μικρότερες ανθρώπινες απώλειες σε μια μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος των 22 °C. Παράλληλα, τα μειωμένα ποσοστά υγρασίας δείχνουν να συσχετίζονται με τα αντίστοιχα αυξημένα ποσοστά της θνησιμότητας. Σε παρόμοιες μελέτες, για την Ταϊβάν και την Ολλανδία, αντίστοιχες θερμοκρασίες που συσχετίζονται με χαμηλά επίπεδα θνησιμότητας ήταν από 26 έως 29 °C, για την πρώτη χώρα και 16 °C για τη δεύτερη. Αυτές οι διακυμάνσεις επηρεάζονται σημαντικά από διάφορους παράγοντες, όπως οι διαφορετικές συνθήκες διαβίωσης των πολιτών της κάθε περιοχής ο διαφορετικός τρόπος εγκλιματισμού τους στο τοπικό της κλίμα κ.ά. (Sharovsky *et al.*, 2004). Έτσι, αν και το Σάο Πάολο παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας από ότι το Λονδίνο και η Ν.Υόρκη, έχει συγκρίσιμες ανθρώπινες απώλειες κατά τις θερινές και χειμερινές περιόδους, οφειλόμενες στις ακραίες καιρικές συνθήκες. Κάτι παρόμοιο ισχύει και σε άλλες σύγχρονες μεγαλουπόλεις με συγκριτικά χαμηλότερο βιοτικό επίπεδο, όπως η Αθήνα και οφείλεται κατά μεγάλο ποσοστό στην υστέρηση σε προστατευτικό εξοπλισμό ένδυσης και στην έλλειψη επάρκειας εξελιγμένων συστημάτων ψύξης – θέρμανσης των κατοικιών (The Eurowinter Group, 1997).

Από την άλλη πλευρά, οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχουν και αυτές κατηγορηθεί ότι προκαλούν μεταβολές στις φυσιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, όπως αύξηση στο ιξώδες του αίματος και στην καρδιακή

λειτουργία, οδηγώντας τον οργανισμό σε μια κατάσταση υπότασης, αφυδάτωσης και πρόκλησης ενδοθηλιακής βλάβης των κυττάρων (Rogot *et al.*, 1992).

2.2.2.2 Αποτελέσματα ερευνών.

Η πίεση του αίματος (σε μια έρευνα με Βρετανίδες γυναίκες ηλικίας 35-44 και με περιορισμένες εμφανίσεις υπέρτασης) έδειξε μια διαφορά συστολής και διαστολής, στα 4,6/2,1 χιλιοστά υδραργύρου (mmHg), όταν μεταβλήθηκε η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία κατά 20 °C (Brennan *et al.*, 1982). Από την άλλη μια αύξηση της θερμοκρασίας δωματίου, κατά έναν βαθμό, σχετίζεται με μια μείωση της συστολικής και διαστολικής πίεσης, κατά 1,3 και 0,6 mmHg ενώ σε μια μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κατά έναν βαθμό, παρατηρείται αντίστοιχα μια μείωση, κατά 0,8 και 0,3 mmHg (Woodhouse *et al.*, 1993).

Στην Αυστραλία, σύμφωνα με διάφορες μελέτες, το ποσοστό της θνησιμότητας παρουσιάζει με την εποχικότητα δείχνοντας μια αύξηση, της τάξεως του 20-40% των θανατηφόρων περιστατικών από οξεία στεφανιαία σύνδρομα, κατά την περίοδο του χειμώνα και της άνοιξης (Enquselassie *et al.*, 1993). Στις Η.Π.Α., σε μια πρώτη απόπειρα καταγραφής εμφραγμάτων του μυοκαρδίου από τα Εθνικά μητρώα της χώρας (NRMI-1), παρατηρήθηκε μια αύξηση της τάξεως του 10% των περιπτώσεων την περίοδο του χειμώνα και της άνοιξης, συγκρινόμενα με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού (Ornato *et al.*, 1996). Σε μια δεύτερη απόπειρα καταγραφής τους, (NRMI-2) στα Εθνικά μητρώα της χώρας, παρατηρήθηκε μια αύξηση της τάξεως του 53% των περιπτώσεων την περίοδο του χειμώνα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού (με το μήνα Ιανουάριο να έχει τη συχνότερη εμφάνιση των περιστατικών) (Spencer *et al.*, 1998).

Μια άλλη εμπειρική μελέτη, η οποία διεξάχθηκε με στόχο τον υπολογισμό της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών σε νεαρές γυναίκες 17 διαφορετικών χωρών, έδειξε μια σημαντική αύξηση του ποσοστού εισαγωγών στα νοσοκομεία από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου (Ο.Ε.Μ) και εγκεφαλικό, γεγονός που συσχετίζεται με τη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σε μια πτώση κατά 5°C στη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος, παρατηρήθηκε μια αύξηση κατά 7% και 12% στις εισαγωγές από εγκεφαλικά και Ο.Ε.Μ, αντίστοιχα. Δεν βρέθηκε κάποια στατιστικά σημαντική συσχέτιση με άλλες κλιματικές παραμέτρους, όπως η υγρασία και η βροχόπτωση ή με άλλες κατηγορίες ασθενειών (Chang *et al.*, 2004).

Στη Γαλλία μια παρόμοια έρευνα, του προγράμματος MONICA και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.), έδειξε ότι σε μια μείωση της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος, κατά 10°C, παρατηρήθηκε μια αύξηση σε εμφράγματα του μυοκαρδίου κατά 13% (Danet *et al.*, 1999). Παράλληλα, στη Χαβάη η θνησιμότητα από σύνδρομα στεφανιαίας νόσου αυξάνεται την περίοδο του χειμώνα κατά 22%, στην Ολλανδία κατά 31%, στην Σκωτία κατά 30% και στη Νέα Ζηλανδία κατά 33%. Στην Ιρλανδία, σε μια αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά ένα βαθμό παρατηρείται μια μείωση της θνησιμότητας από οξεία στεφανιαία σύνδρομα και για τα δυο φύλα κατά 2,2%. Αντίθετα μια έρευνα στην Ισπανία, δείχνει να αυξάνεται ο κίνδυνος θνησιμότητας από ισχαιμικά καρδιαγγειακά επεισόδια κατά 4%, σε μια αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά έναν βαθμό πάνω από τους 25°C, ενώ σε μια αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κάτω από τους 4,7°C δεν

παρουσιάστηκε τόσο μεγάλο ποσοστό κινδύνου πρόκλησης θνησιμότητας (Chan *et al.*, 2004).

2.3 Συσχέτιση ατμοσφαιρικών ρύπων και κλιματικών παραμέτρων με καρδιαγγειακά επεισόδια

2.3.1 Εισαγωγή - Έκθεση του αστικού πληθυσμού της Ε.Ε. σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας εξακολουθεί να αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στις περισσότερες από τις πόλεις της Ευρώπης. Η μέση συγκέντρωση του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους εξακολουθεί να αυξάνεται, μολονότι οι τιμές των συγκεντρώσεων αιχμής του συνεχώς μειώνονται. Η έκθεση του ατόμου σε αιωρούμενα σωματίδια είναι πιθανώς το σημαντικότερο πρόβλημα υγείας, που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, για τις περισσότερες από τις πόλεις. Παρόλο που οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των ρύπων, από τότε που ξεκίνησε η καταμέτρηση τους, συνεχώς μειώνονται, ένα μεγάλο ποσοστό του αστικού πληθυσμού εκτίθεται ακόμα σε υψηλές συγκεντρώσεις, οι οποίες υπερβαίνουν τις μελλοντικές οριακές τιμές προστασίας της ανθρώπινης υγείας, των Οδηγιών της Ε.Ε. Ανάμεσα στα έτη 1996 - 2001, το 25 - 45% του αστικού πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις σωματιδίων που υπερβαίνουν τη κοινοτική οριακή τιμή, ενώ το 20 - 30% εκτίθεται σε συγκεντρώσεις όζοντος άνω της κοινοτικής οριακής τιμής (Ε.Ο.Π. 2003).

Πολλές ερευνητικές εργασίες παρατήρησαν μια σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην ανθρώπινη θνησιμότητα και τις κλιματικές συνθήκες. Στατιστικά υποδείγματα, τα οποία περιλαμβάνουν την παράμετρο της εποχικότητας, έχουν εμφανίσει βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες επιδράσεις του καιρού στην υγεία του ανθρώπου. Σημαντικοί παράγοντες, εκτός από τις κλιματικές συνθήκες, βρέθηκαν να είναι η επιλογή από τους πολίτες ενός σωστού προστατευτικού εξοπλισμού (κατάλληλου ιματισμού κ.ά.), όπως και η επάρκεια θέρμανσης και ψύξης στο χώρο διαβίωσης τους. Το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της κάθε περιοχής επηρεάζει σημαντικά το ρόλο των κλιματικών παραμέτρων για την ανθρώπινη υγεία, με τις μικρότερες πιθανές συνέπειες τους σε περιοχές με ήπιο κλίμα (χωρίς την παρουσία ακραίων θερμοκρασιών περιβάλλοντος). Οι παράμετροι της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι οι επικρατέστεροι συγχυτικοί παράγοντες, στις περισσότερες μελέτες διερεύνησης της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και πρέπει να εισέρχονται μαζί στο υπόδειγμα, ώστε να διαπιστώνονται οι συνδυασμένες επιδράσεις τους (Kassomenos *et al.*, 2001).

2.3.3 Αποτελέσματα ερευνών για την πόλη της Αθήνας.

2.3.3.1 Εισαγωγή.

Η πόλη της Αθήνας σήμερα, όπως και παλιότερα, εμφανίζει υψηλά επίπεδα ρύπων που επιδρούν σημαντικά στην υγεία των πολιτών της, γεγονός που αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα αρκετών μελετών (Touloumi *et al.*, 1996). Παράλληλα με τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης, το κλίμα της περιοχής με τα ζεστά παρατεταμένα καλοκαίρια,

τους υγρούς χειμώνες και τις έντονες εποχικές διακυμάνσεις, φαίνεται να είναι ένας ακόμα παράγοντας δυσμενούς επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία (Katsouyanni *et al.*, 1993).

Μέσα από μια σειρά μελετών έχει παρατηρηθεί ότι σοβαρά επεισόδια ρύπανσης παρουσιάζονται σε όλες τις εποχές του χρόνου, για την πόλη της Αθήνας και ότι σχετίζονται με συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες, όπως και ότι οφείλονται σε συγκεκριμένα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Μόνο τη δεκαετία '80 - '90 συνέβηκαν πάνω από 80 επεισόδια ρύπανσης, διάρκειας από 2 έως 7 ημέρες, τα οποία έδειξαν ιδιαίτερη προτίμηση στην εποχή του χειμώνα και κάποια μικρότερη προτίμηση στις εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου. Οι επικρατέστεροι μήνες για την εμφάνιση αυτών των επεισοδίων είναι ο Δεκέμβριος, ο Οκτώβριος και ο Απρίλιος (Kallos *et al.*, 1994).

2.3.3.2 Αθήνα (1975-1982)

Για τη περίοδο 1975-1982, πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια διερεύνησης της συσχέτισης ανάμεσα στη θνησιμότητα των πολιτών της πόλης και της ευρύτερης περιοχής της, με την αύξηση της συγκέντρωσης συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων (SO_2 , καπνός). Στα αποτελέσματα της μελέτης παρατηρήθηκε έντονη θετική συσχέτιση του διοξειδίου του θείου (β : 0,0058) και της θνησιμότητας, ανεξάρτητα από την επίδραση των κλιματικών παραμέτρων. Για τον καπνό δεν βρέθηκε κάποια αντίστοιχα σημαντική συσχέτιση (Hatzakis *et al.*, 1986).

2.3.3.3 Αθήνα (1984-1988)

Κατά τη διερεύνηση των άμεσων επιδράσεων της ρύπανσης στη ανθρώπινη θνησιμότητα στην πόλη της Αθήνας, για την περίοδο 1984-1988, διαπιστώθηκε ότι μια μείωση της ημερήσιας συγκέντρωσης του καπνού κατά 10% θα μπορούσε να επιδράσει θετικά στην ανθρώπινη υγεία μειώνοντας την ημερήσια θνησιμότητα κατά 0,75%. Ο έλεγχος των παραπάνω συσχετίσεων έγινε μέσω λογαριθμικών αυτοπαλινδρομών υποδειγμάτων, θέτοντας τη θνησιμότητα ως την εξαρτημένη μεταβλητή απέναντι στις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των ρύπων, όπως και στις κλιματικές (υγρασία, θερμοκρασία) και χρονολογικές παραμέτρους. Για τους υπόλοιπους πρωτογενείς ρύπους δεν βρέθηκε κάποια αντίστοιχη σημαντική συσχέτιση, παρόλο που η επίδραση τους εμφανίστηκε μεγαλύτερη, από την αντίστοιχη, μετά την προσθήκη κλιματικών παραμέτρων στο υπόδειγμα (Touloumi *et al.*, 1994).

2.3.3.4 Αθήνα (1987-1991)

Αποτελέσματα μελέτης της επίδρασης πρωτογενών ρύπων (καπνού, μονοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου) στην ανθρώπινη υγεία, για τη χρονική περίοδο 1987-1991, βρέθηκαν να υπερβαίνουν σημαντικά τα όρια ασφαλείας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των παραπάνω ρύπων εμφανίστηκαν κατά τα τέλη του φθινοπώρου προς τις αρχές του χειμώνα. Μέσω μιας παλινδρόμησης Poisson, ερευνήθηκαν τα αποτελέσματα της επίδρασης, από μια αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου και του καπνού κατά $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, στη θνησιμότητα των πολιτών. Παρουσιάστηκε μια ημερήσια αύξηση της θνησιμότητας κατά 12% και 5% αντίστοιχα. Στην ίδια έρευνα

διαπιστώθηκε ότι μια αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 10 mg/m^3 , είχε ως αποτέλεσμα μια αντίστοιχη αύξηση της συνολικής ημερήσιας θνησιμότητας κατά 10%. Σε ένα υπόδειγμα εποχιακής μεταβολής της θνησιμότητας, εμφανίστηκε σημαντική συσχέτιση της με τους χειμερινούς μήνες, όπως και μια μικρότερη με τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο συσχετισμός ανάμεσα στους τρεις ρύπους και στην εποχή βρέθηκε στατιστικά σημαντικός μόνο για την περίοδο του χειμώνα και για το μονοξείδιο του άνθρακα.

Παρουσιάστηκε επίσης συνεργισμός ανάμεσα στις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και του καπνού, όπου η επίδραση του πρώτου στη θνησιμότητα είναι στατιστικά σημαντική όταν ο δεύτερος εμφανίζει συγκέντρωση πάνω από 100 μg/m^3 στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, χωρίς όμως να ισχύει το αντίστροφο (με αντίστοιχους συντελεστές παλινδρόμησης: 0,00143, 0,00024). Μέσα από παρόμοιες μελέτες, σε πόλεις των Η.Π.Α. και για την ίδια χρονική περίοδο, θέτοντας στις συσχετίσεις αιωρούμενα σωματίδια αντί καπνού, αναδεικνύεται ότι έχουν μεγαλύτερη συσχέτιση με την ανθρώπινη θνησιμότητα, γεγονός δικαιολογημένο, εάν ληφθεί υπόψη ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ήταν αρκετά μειωμένες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες της Αθήνας. Η παραπάνω έρευνα για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο εξάγει το συμπέρασμα της σημαντικής επίδρασης των τριών ρύπων στη δημόσια υγεία των πολιτών της Αθήνας, όπου μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσης τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε αυτήν. Παράλληλα, αμφισβητεί την ασφάλεια που παρέχουν τα υπάρχοντα θεσμοθετημένα όρια ασφαλείας για την έκθεση των πολιτών σε συγκεκριμένα επίπεδα συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Touloumi *et al.*, 1994).

2.3.3.5 Αθήνα (1988)

Σε μια εμπειρική διερεύνηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη νοσηρότητα από καρδιαγγειακά επεισόδια για την πόλη της Αθήνας καταμετρήθηκαν, για το έτος 1988, όλες οι έκτακτες εισαγωγές στα μεγάλα νοσοκομεία της πόλης, όπως και οι κλήσεις για προσφορά επείγουσας ιατρικής βοήθειας στις κατοικίες των ασθενών. Ο έλεγχος των συσχετίσεων πραγματοποιήθηκε μέσω υποδειγμάτων πολλαπλών παλινδρομήσεων, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες παραμέτρους ως ψευδομεταβλητές με στόχο τον έλεγχο της επίδρασης των συγχυτικών παραγόντων. Οι ρύποι, στους οποίους επικεντρώθηκε η συγκεκριμένη έρευνα, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου και ο καπνός ενώ το διοξείδιο του θείου εξαιτίας των χαμηλών συγκεντρώσεων του κατά την περίοδο της μελέτης, όπως και το όζον λόγω της διαφορετικής γεωγραφικής και εποχιακής κατανομής του, εξαιρέθηκαν από το υπόδειγμα.

Σε μια μέση ημερήσια τιμή για τον καπνό στα 75 μg/m^3 για την περίοδο του χειμώνα και στα 55 μg/m^3 για τη θερινή περίοδο (για το έτος 1988), παρατηρήθηκε μια μέση αύξηση των ημερήσιων εισαγωγών από καρδιαγγειακά επεισόδια, κατά 15 και 1,6 αντίστοιχα, όταν οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις του ρύπου ανήλθαν σε 135 μg/m^3 για τη περίοδο του χειμώνα και 61 μg/m^3 για τη θερινή περίοδο. Παρομοίως, στους υπόλοιπους ρύπους παρατηρήθηκε μια μέση αύξηση των ημερήσιων εισαγωγών κατά 11,2 για το μονοξείδιο του άνθρακα τη περίοδο του χειμώνα ($4,5 \rightarrow 5,2 \text{ mg/m}^3$) και 1.4 τη θερινή περίοδο ($3,4 \rightarrow 4,3 \text{ mg/m}^3$) ενώ για το διοξείδιο του αζώτου παρατηρήθηκε μια μέση αύξηση των ημερήσιων εισαγωγών κατά 11 τη

χειμερινή περίοδο και μια μείωση κατά 0,06 τη θερινή περίοδο. Τα αποτελέσματα εμφανίζουν μια μεγαλύτερη επίδραση της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία την περίοδο του χειμώνα, κάτι που εξηγείται από τις μέσες συγκεντρώσεις των περισσότερων ρύπων που είναι ιδιαίτερα αυξημένες, αλλά και από τις επιπτώσεις του ψύχους την περίοδο αυτή στο κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου. Σε παρόμοιες μελέτες για τη Βαρκελώνη (Sunyer *et al.*, 1991,1993), μια πόλη με παρόμοια κοινωνικοοικονομικά, γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά με την Αθήνα, παρατηρείται μια πιο ισορροπημένη επίδραση ανάμεσα στις δυο περιόδους, ενώ στο Σιάτλ (Schwartz 1993) και σε ηλικιωμένες ομάδες ανθρώπων (>65), παρατηρείται μια τάση αύξησης των εισαγωγών κατά τη χειμερινή περίοδο.

Περιορισμός της μελέτης θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ένας αριθμός εισαγωγών προέρχεται από την περιφέρεια, εκτός της πόλης της Αθήνας. Ένας άλλος περιορισμός θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι οι έκτακτες εισαγωγές, όπως και οι επισκέψεις ιατρών στις κατοικίες των ασθενών, δεν αποτελούν από μόνες τους διαγνώσεις σοβαρών καρδιαγγειακών επεισοδίων (Pantazopoulou *et al.*, 1995).

2.3.3.6 Αθήνα (1992-1997)

Για τη χρονική περίοδο 1992 - 1997, βρέθηκε έντονη συσχέτιση ανάμεσα σε πρωτογενείς ρύπους και θανάτους από καρδιαγγειακά επεισόδια, για την πόλη της Αθήνας. Συγκεκριμένα για κάθε $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στη συγκέντρωση του καπνού παρατηρήθηκε μια αύξηση κατά 4% σε θανάτους οφειλόμενους σε καρδιαγγειακά επεισόδια. Σε μια ίδια αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, παρατηρήθηκε μια αύξηση κατά 5% στη θνησιμότητα, όση ακριβώς παρατηρήθηκε και σε $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα. Μια αύξηση κατά μια μονάδα στα επίπεδα συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα αρκεί για να αυξήσει κατά δύο μονάδες την ημερήσια ανθρώπινη θνησιμότητα ή κατά 730 μονάδες την ετήσια θνησιμότητα. Ο συγκεκριμένος ρύπος αποδεικνύεται ιδιαίτερα επικίνδυνος για τους πολίτες της Αθήνας την περίοδο του χειμώνα, όπου υπάρχει συνδυασμός έντονης οδικής κυκλοφορίας, λειτουργίας κεντρικών θερμάνσεων και αρκετών βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην πόλη, γεγονότα που αυξάνουν σημαντικά τα επίπεδα συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα. Επίσης, από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας αποδεικνύεται ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης των ρύπων, για τις περισσότερες ημέρες της χρονικής περιόδου, δεν υπερβαίνουν τα όρια που θεσμοθετούνται για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, αμφισβητώντας έτσι, τα πραγματικά όρια ασφαλείας (Panagiotakos & Pitsavos, 2003).

2.3.3.7 Επίδραση της συνοπτικής κυκλοφορίας ανέμου (1987-1991)

Σε μια διερεύνηση της επίδρασης διαφορετικών τύπων συνοπτικής κυκλοφορίας του αέρα, στους πολίτες της Αθήνας και για τη χρονική περίοδο 1987-1991, εξετάζονται παράλληλα τα αποτελέσματα διαχωρισμένα σε θερινή και χειμερινή περίοδο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης γενικευμένων προσθετικών μοντέλων (GAM), και παλινδρόμησης Poisson, όπως και συντελεστών εξομάλυνσης (loess smother) με στόχο τον έλεγχο της επίδρασης στα αποτελέσματα των εποχικών μεταβολών, των συγκεντρώσεων καπνού στην ατμόσφαιρα και άλλων συγχυτικών παραγόντων.

Οι σημαντικότεροι συνοπτικοί τύποι καιρικών συνθηκών της πόλης της Αθήνας είναι:

- ο ανοιχτός κυκλώνας (OC), ο οποίος είναι νοτιοδυτικός, ψυχρός και άνυδρος,
- η νοτιοδυτική ροή ανέμου (SW), η οποία είναι ζεστή, υγρή και προέρχεται από τη θάλασσα,
- η βορειοδυτική ροή ανέμου (NW), η οποία περιλαμβάνει ψυχρούς ανέμους κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο και χαμηλά ποσοστά υγρασίας,
- ο ζωνοειδής ροής άνεμος (ZN), ο οποίος είναι ασθενής δυτικός ή νοτιοδυτικός,
- ο κλειστός κυκλώνας (CC), ο οποίος είναι δυνατός άνυδρος προερχόμενος από τον βορά,
- ο ανοιχτός αντικυκλώνας (OA), ο οποίος είναι ασθενής με διάρκεια, μετριασμένα επίπεδα υγρασίας και αυξημένες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,
- ο κλειστός αντικυκλώνας (CA), ο οποίος είναι ασθενής με αυξημένα ποσοστά υγρασίας και θερμοκρασίας,
- ένας συνδυασμός χαμηλού και υψηλού βαρομετρικού συστήματος ατμοσφαιρικής πίεσης (HL), ο οποίος έχει μετριασμένους δυνατούς βόρειους ή βορειοανατολικούς άνυδρους ανέμους. Οι συγκεντρώσεις του καπνού, κατά τη περίοδο της μελέτης, ξεπερνάνε τα όρια ασφαλείας του Π.Ο.Υ. για το 42% των συνολικών ημερών σε μερικούς από τους αντιπροσωπευτικότερους σταθμούς της πόλης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας εμφανίζουν ένα ποσοστό εμφάνισης, που ανήκει στην κάθε κατηγορία ανέμου και εποχική περίοδο. Κατά τη χειμερινή περίοδο στην πόλη της Αθήνας παρατηρείται : CA:2%, CC:12%, HL:9%, NW:9%, OA:37%, OC:10%, SW:13%, ZN:8%,

Όπως και για τη θερινή περίοδο παρατηρείται : CA: 2%, CC: 5%, HL: 20%, NW: 7%, OA: 46%, OC: 9%, SW: 5%, ZN: 6%.

Κατόπιν εξάγονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων της αύξησης του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας (RR), για κάθε κατηγορία καιρικών συνθηκών, με την προσθήκη της μέσης ημερησίας τιμής του καπνού, στο υπόδειγμα. Κατά τη χειμερινή περίοδο στη πόλη της Αθήνας παρατηρείται : SW: 1,102, SW + BS: 1,104, CC: 1,059, CC + BS: 1,067, CA: 1,083, CA + BS: 1,072, ZN : 1,089, ZN + BS:1,081, OC: 1,053, OC + BS: 1,050, OA:1,056, OA: 1,048, NW: 1,016, NW + BS: 1,015, Όπως και για τη θερινή περίοδο παρατηρείται : SW:1,104, SW + BS: 1,096, CC: 1,025, CC + BS: 1,021, CA : 1,016, CA + BS: 1,003, ZN: 1,011, ZN + BS: 1,002, OC: 1,066, OC + BS: 1,057, OA: 1,017, OA: 1,007, NW: 0,998, NW + BS: 0,993.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι οι νοτιοδυτικοί άνεμοι (SW) έχουν την περισσότερη δυσμενή συνέπεια στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίοι συνδυάζονται με μια ταχύτατη αύξηση του ποσοστού υγρασίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από μια ξαφνική αντικατάσταση των ψυχρών μαζών αέρα της τροπόσφαιρας από αντίστοιχες ζεστές μάζες, οι οποίες μεταφέρονται από τη Βόρειο Αφρική, γεγονός που είναι ικανό να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία σε όλες τις εποχές του έτους. Αντίθετα, οι βόρειοι βορειοδυτικοί άνεμοι (NNW), οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ένταση και χαμηλά ποσοστά υγρασίας, δημιουργούν ευνοϊκότερες κλιματικές συνθήκες στην πόλη, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, αναλαμβάνοντας αποκλειστικά την ευθύνη του αερισμού της. Την περίοδο του χειμώνα και εξαιτίας των ιδιαίτερα χαμηλών θερμοκρασιών που συνοδεύουν την συγκεκριμένη κατηγορία ανέμου, παρατηρείται μια αύξηση της επιβάρυνσης του κυκλοφορικού συστήματος του ανθρώπου.

Στη συνέχεια, σημαντική επίδραση στην ανθρώπινη θνησιμότητα έχουν οι αντικυκλώνες, ανοιχτοί και κλειστοί, οι οποίοι αντιστρέφουν τις μετεωρολογικές συνθήκες, με τους πρώτους να έχουν συχνότατη παρουσία κατά τη χρονική περίοδο της έρευνας. Κατά την περίοδο του χειμώνα συνοδεύονται από ασθενείς ανέμους και ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα δυσμενείς κλιματικές συνθήκες δημιουργούνται όταν ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εξαπλώνεται νότια, μέχρι τη περιοχή των Βαλκανίων, συνοδευόμενος από ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται κατά την παρουσία του ζωνοειδή ανέμου, ο οποίος κατά τη χειμερινή περίοδο εμφανίζει σημαντικά πιο αυξημένες τιμές σχετικού κινδύνου (RR) και είναι πιο ασθενής από ότι στη θερινή περίοδο. Ο σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας δείχνει να περιορίζεται ελαφρώς ή να παραμένει αμετάβλητος όταν περιπλέκεται η παράμετρος της συγκέντρωσης του καπνού στο στατιστικό υπόδειγμα.

Οι διάφοροι τύποι συνοπτικής ροής ανέμου δεν είναι οι ίδιοι σε όλες της περιοχές του πλανήτη. Στις Η.Π.Α. παρατηρούνται εντελώς διαφορετικοί τύποι ανέμων με τους αντίστοιχους της Ελλάδας, παρόλο που οι δυο περιοχές βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Αυτό οφείλεται εξαιτίας της διαφορετικής διανομής ξηράς - θάλασσας και φυσιογραφίας των δυο χωρών. Στη προκειμένη περίπτωση, η Αθήνα είναι μια πόλη χτισμένη πάνω στα παράλια της Μεσογείου, σχετικά κοντά στην έρημο Σαχάρα, από την οποία μεταφέρονται καυτές και υγρές αέριες μάζες. Αυτές είναι υπεύθυνες για την πρόκληση απότομων θερμοκρασιακών μεταβολών και αποτελούν την πιο δυσμενή συνοπτική ροή ανέμου για την ανθρώπινη υγεία. Από την άλλη, στις Η.Π.Α. και συγκεκριμένα στο St.Louis, οι αντίστοιχες αέριες μάζες προερχόμενες από τη Καραϊβική Θάλασσα, διασχίζοντας σημαντικό έδαφος ξηράς απελευθερώνουν σημαντικό ποσοστό από τη περιεχόμενη τους υγρασία, προκαλώντας εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Στις δυο εξεταζόμενες περιοχές, οι βορειοδυτικοί άνεμοι (NW) έχουν παρόμοια ευνοϊκά αποτελέσματα, με χαμηλά ποσοστά κινδύνου για την ανθρώπινη θνησιμότητα και με συχνότητα εμφάνισης, αντίστοιχα : 9% και 6% (Kassomenos *et al.*, 2001).

2.3.4.8 Αθήνα (2001).

Σε μια μείωση της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης των PM_{10} σε $50 \mu g/m^3$, (σε όσους σταθμούς μέτρησης των ρύπων υπερβαίνεται το όριο αυτό), όπως και μια αντίστοιχη μείωση της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης του ρύπου στα $20 \mu g/m^3$ θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί, αντίστοιχα 143,98 και 534,58 θάνατοι ετησίως Αθηναίων πολιτών. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο μέσος ετήσιος όρος της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για το 2001 ήταν $52,12 \mu g/m^3$, όπως και το γεγονός ότι οι μέρες που υπερβαίνουν το επίπεδο των $50 \mu g/m^3$ ήταν 178 ενώ αυτές που υπερβαίνουν τα $20 \mu g/m^3$ ήταν 354. Ένας περιορισμός της 24ωρης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{10}, PM_{2.5}$) στα $20 \mu g/m^3$, θα αυξήσει το προσδόκιμο ζωής, έως και 13 μήνες, σε ένα νεαρό Αθηναίο πολίτη (ηλικίας 30 ετών) (Katsouyanni *et al.*, 2001).

2.3.4 Αποτελέσματα συσχετίσεων σε μεγάλες αστικές περιοχές ανά το κόσμο.

2.3.4.1 Ευρωπαϊκή οδηγία 2005/0183.

Κατά το έτος 2000 και για τις 25 χώρες της Ε.Ε., υπολογίστηκε ότι η έκθεση των πολιτών σε αιωρούμενα σωματίδια προκαλεί μια μείωση του μέσου προσδοκώμενου χρόνου ζωής τους κατά εννέα μήνες (ήτοι απώλεια περίπου 3.6 εκατομμυρίων ετών ζωής ή 348,000 πρόωρους θανάτους ετησίως). Επιπλέον υπολογίστηκε ότι σημειώθηκαν περίπου 21,400 πρόωροι θάνατοι εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Μέχρι το 2020, αναμένεται να συντελεστεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών σωματιδίων καθώς και των προδρόμων ουσιών τους, με αποτέλεσμα να μειωθεί η απώλεια του μέσου προσδοκώμενου χρόνου ζωής σε περίπου 5,5 μήνες. Παράλληλα, αναμένεται ότι κατά την ίδια χρονική περίοδο θα μειωθούν κατά 600 οι περιπτώσεις των πρόωρων θανάτων, εξαιτίας της έκθεσης στο όζον. Υπολογίστηκε ότι το κόστος των εν λόγω ζημιωγόνων επιπτώσεων το 2020 θα κυμαίνεται ανάμεσα σε 189 και 609 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως (Directive, 2005/0183).

2.3.4.2 Σάο Πάολο (1996-1998).

Στη πόλη του Σάο Πάολο της Βραζιλίας, για τη χρονική περίοδο 1996-1998, πραγματοποιήθηκε μελέτη συσχέτισης μέσω παλινδρόμησης Poisson της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κάποιων κλιματικών παραμέτρων και της θνησιμότητας των πολιτών από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου (Ο.Ε.Μ.). Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μια γραμμική συσχέτιση στην αύξηση της θνησιμότητας (με ποσοστό 3,4%) σε μια αντίστοιχη αύξηση τη συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα, κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι άλλοι πρωτογενείς ρύποι, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), δεν παρουσίασαν κάποια σημαντική συσχέτιση. Αν και οι δυο αυτοί ρύποι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, δείχνουν να συσχετίζονται σημαντικά με Ο.Ε.Μ., στη παρούσα εργασία δεν παρατηρήθηκε κάτι τέτοιο ενώ αντίθετα εμφανίστηκε συσχέτιση με το διοξείδιο του θείου, παρόλο που συναντάται σε μικρές συγκεντρώσεις στη πόλη του Σάο Πάολο. Ο συγκεκριμένος ρύπος θεωρείται υπεύθυνος για την προσβολή του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος του ανθρώπου και είναι πολύ πιθανό ο συσχετισμός του με τη θνησιμότητα να οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί και δείκτη παρουσίας ιδιαίτερα επικίνδυνων ρύπων στην ατμόσφαιρα της πόλης, όπως του θειικού οξέος (H_2SO_4) (Schwartz *et al.*, 1994).

2.3.4.3 Χονγκ Κονγκ (1994-1995).

Μελέτη των βραχυχρόνιων επιδράσεων των συγκεντρώσεων πρωτογενών ατμοσφαιρικών ρύπων στις εισαγωγές των νοσοκομείων από καρδιαγγειακά επεισόδια, για τη πόλη του Χονγκ Κονγκ και για τη χρονική περίοδο 1994-1995, έδειξε ότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρήθηκε μια αξιοσημείωτη αύξηση του σχετικού κινδύνου εισαγωγής στα νοσοκομεία κατά 1,006 (RR) για τα PM_{10} και κατά 1,016 (RR) για το SO_2 . Παράλληλα, παρατηρήθηκε αύξηση της επίδρασης όλων των ρύπων τη περίοδο του χειμώνα, όπως και στις κατηγορίες ασθενών υψηλού κινδύνου (>65) (Wong *et al.*, 1999).

2.3.4.4 Ρώμη (01/95-06/97).

Σε μελέτη για την πόλη της Ρώμης, για τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 1995 - Ιούνιος 1997, παρατηρήθηκε μέσω διασταυρωμένων αναλύσεων μια έντονη θετική συσχέτιση ανάμεσα στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και στις εισαγωγές ασθενών από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μια αύξηση του σχετικού κινδύνου εμφάνισης τους κατά 1,028 (RR) σε μια αντίστοιχη αύξηση κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ της συγκέντρωσης του ρύπου. Για τους υπόλοιπους ρύπους (NO_2, CO) παρατηρήθηκε μια μικρότερη, αλλά θετική, συσχέτιση των εισαγωγών με τις συγκεντρώσεις τους. Σε κατηγορίες ηλικιωμένων πολιτών (άνω των 74 ετών) και σε ημέρες με αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο σχετικός κίνδυνος ανήλθε στο 1,046 (RR), ενώ αντίστοιχα στο 1,080 (RR), ανήλθε για περιπτώσεις ηλικιωμένων με προβλήματα αρρυθμίας (D'Ippoliti *et al.*, 2003).

2.3.5 Αποτελέσματα συσχέτισεων σε μεγάλες αστικές περιοχές ανά τον κόσμο (με συγχρητικούς παράγοντες).

Ενώ πρόσφατες μελέτες έχουν εμφανίσει στα αποτελέσματα τους σημαντικές συσχέτισεις ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στις επιπτώσεις της στην δημόσια υγεία, υπάρχει διάχυτη η επιθυμία από άλλους ερευνητές για την εξέταση της επίδρασης διαφόρων κλιματικών παραγόντων στην παραπάνω συσχέτιση (Dockery *et al.*, 1994). Εξαιτίας της πιθανής επίδρασης των κλιματικών παραμέτρων στην συσχέτιση ανάμεσα στη ρύπανση και στη θνησιμότητα, οι ερευνητές έθεσαν ως στόχο να αποδείξουν τον ανεξάρτητο ρόλο των ρύπων, ενσωματώνοντας τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο στατιστικό υπόδειγμα. Κατά αυτόν τον τρόπο ένα υπόδειγμα το οποίο θα μπορούσε να εμφανίζει βεβαιωμένα αποτελέσματα συσχέτισης στους ρύπων και στην θνησιμότητα, τώρα θα περιλαμβάνει και τον δυνητικό ρόλο των κλιματικών παραμέτρων (Samet *et al.*, 1998). Τα πιο συνήθη στατιστικά υποδείγματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτού του σκοπού, είναι η εφαρμογή της παλινδρόμησης Poisson (με πρώτους να την εφαρμόζουν τους Schwartz and Dockery, 1992) θέτοντας τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος της ίδιας και της προηγούμενης ημέρας, ως συγχρητικό παράγοντα στο στατιστικό υπόδειγμα. Μια άλλη μέθοδος, η οποία επιτυγχάνει μια σειρά προβλέψεων για την ανθρώπινη θνησιμότητα και την συσχέτιση της με την ατμοσφαιρική ρύπανση, εφαρμόζεται μέσω χρήσης μη παραμετρικών συναρτήσεων εξομάλυνσης για τον έλεγχο της επίδρασης μετά την προσθήκη στο υπόδειγμα της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος της προηγούμενης ημέρας και του σημείου δρόσου της ίδιας ημέρας (για πρώτη φορά η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε από τους Neas *et al.*, 1994). Ένα εναλλακτικό υπόδειγμα διερεύνησης της παραπάνω συσχέτισης είναι ο διαχωρισμός του χρονολογικού έτους σε 22 (ή και παραπάνω) χρονικές κατηγορίες (TSI), περιλαμβάνοντας όλες τις εποχές του έτους, όπου μέσα στη καθεμία η επίδραση των κλιματικών παραμέτρων στη θνησιμότητα πρέπει να παραμένει σταθερή (πρώτη εφαρμογή του συγκεκριμένου υποδείγματος έγινε από τους Kalkstein *et al.*, 1987) (Samet *et al.*, 1998).

2.3.5.1 Ολλανδία (1979-1987).

Μια μελέτη για τη χώρα της Ολλανδίας, για την περίοδο 1979-1987, ασχολήθηκε με τη με την συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου και την συσχέτιση της με την ανθρώπινη θνησιμότητα. Λαμβάνοντας υπόψη και άλλες μεταβλητές μέσα στο στατιστικό υπόδειγμα, όπως η μέση, η ελάχιστη, η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου, διερευνάται η επίδραση τους στην παραπάνω σχέση. Η μέση ημερήσια διακύμανση της τιμής του ρύπου ήταν $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά την περίοδο αυτή ενώ η μέγιστη ημερήσια τιμή έφτασε τα $398 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι υπερβάσεις των ημερήσιων συγκεντρώσεων (πάνω από $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) δεν ήταν παραπάνω από 19 στο σύνολο τους. Παρόλο τις χαμηλές σχετικά συγκεντρώσεις του ρύπου, μια θετική συσχέτιση, της τάξεως του 0,11%, αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξηση στη συγκέντρωση του ρύπου εντοπίστηκε, κάτι που υποδεικνύει ότι τα ασφαλή όρια συγκεντρώσεων του ρύπου πρέπει να αναζητηθούν σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα. Η συσχέτιση αυτή καταλήγει σε αρνητικό πρόσημο (-0,00010) όταν συμπεριλαμβάνονται μέσα στη παλινδρόμηση όλοι οι συγχυτικοί παράγοντες. Σημαντικότερος συγχυτικός παράγοντας αποδεικνύεται η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπου ο συντελεστής συσχέτισης του ρύπου να μετατρέπεται με την παρουσία της συγκεκριμένης παραμέτρου από 0,00110 σε 0,00006. Στη χώρα της Ολλανδίας είναι συχνό φαινόμενο ένα σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης να ακολουθεί μια χρονική περίοδο πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, εξαιτίας των ακραίων κλιματικών συνθηκών και της υψηλής κατανάλωσης καυσίμων για τη θέρμανση των κατοικιών κατά την περίοδο αυτή (Mackenbach *et al.*, 1993).

2.3.5.2 Τεχεράνη (1996-2001).

Για τη πόλη της Τεχεράνης, για τη για χρονική περίοδο 1996-2001, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση μέσω παλινδρόμησης Poisson της συσχέτισης των συγκεντρώσεων μερικών από τους σημαντικότερους αστικούς ρύπους (CO , NO_2 , O_3 , SO_2 , PM_{10}) με τις εισαγωγές, στα 25 ακαδημαϊκά νοσοκομεία της πόλης, ασθενών από ασταθή στηθάγχη. Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων δείχνουν ότι με τους περισσότερους από τους ρύπους υπάρχει σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές (SO_2 : 0,0504, CO : 0,1367, NO_2 : 0,1239, O_3 : -0,1585, PM_{10} : 0,0270) και ιδιαίτερα όταν λαμβάνεται υπόψιν μια ημέρα καθυστέρησης εμφάνισης των κρουσμάτων (από την στιγμή της έκθεσης των πολιτών σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων). Μικρότερη συσχέτιση παρατηρήθηκε ανάμεσα στα αποτελέσματα συσχέτισης εισαγωγών (της ίδιας ημέρας εμφάνισης τους) και συγκεντρώσεων των ρύπων (SO_2 : 0,0266, CO : 0,0737, NO_2 : 0,1010, O_3 : -0,1405, PM_{10} : 0,0269). Σε ένα υπόδειγμα διερεύνησης της συσχέτισης ανάμεσα σε κάθε ρύπο χωριστά και τις εισαγωγές στα νοσοκομεία, παρατηρήθηκε μια έντονη συσχέτιση για τα NO_2 , CO , O_3 και μια ασθενής συσχέτιση για το SO_2 (Hosseinpoor *et al.*, 2005).

Η πόλη της Τεχεράνης έχει μια ιδιαίτερα επιβαρημένη ποιότητα ατμόσφαιρας εξαιτίας του γεωμορφολογικού της τοπίου, των κλιματικών συνθηκών και της αυξημένης κυκλοφορίας οχημάτων. Είναι χτισμένη μέσα σε ένα λεκανοπέδιο, εμφανίζοντας ιδιαίτερα υψηλές τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ηλιοφάνειας ενώ παράλληλα υποστηρίζεται από ένα ελλιπές οδικό δίκτυο με έναν πολύ μεγάλο αριθμό οχημάτων. Διάφοροι κοινωνικοοικονομικοί και πολιτιστικοί παράγοντες, ευθύνονται για το ότι οι πολίτες της Τεχεράνης καθυστερούν να προσέλθουν στα

νοσοκομεία της πόλης για τη λήψη πρώτων βοηθειών όταν αισθάνονται κάποιο πρόβλημα στη υγεία τους (με αποτέλεσμα να εμφανίζεται αυτό το χρονικό διάστημα καθυστέρησης, της μιας ημέρας, στην εμφάνιση συσχέτιση ανάμεσα στα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στις εισαγωγές των νοσοκομείων) (Hosseinpoor *et al.*, 2005).

2.3.5.3 Ντιτρόιτ (1986-1989), Η.Π.Α., Τουσόν.

Σε έρευνα για την πόλη του Ντιτρόιτ, που αφορούσε τη χρονική περίοδο 1986-1989, περιλαμβάνοντας μόνο ηλικιωμένους πολίτες άνω των 65 ετών παρατηρήθηκε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) συσχετίζονται με τις εισαγωγές στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια, διότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης τους κατά $32 \mu g/m^3$ εμφανίστηκε μια αντίστοιχη αύξηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας κατά 1.018 (RR). Το μονοξείδιο του άνθρακα, όπως και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) εισέρχονται ως ανεξάρτητες μεταβλητές στο στατιστικό υπόδειγμα. Σε μια αύξηση, αντίστοιχα των $10 \mu g/m^3$ και 1,28 ppm, παρατηρήθηκε μια αύξηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας κατά 1,024 (RR) και 1,022 (RR) (Schwartz *et al.*, 1995). Για την ίδια ηλικία πολιτών στην πόλη Τουσόν της Αριζόνας των Η.Π.Α., μέσω της χρήσης παλινδρόμησης Poisson παρατηρήθηκε ότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης των PM_{10} κατά $23 \mu g/m^3$ και του CO κατά 1.66 ppm προκαλείται, αντίστοιχα αύξηση στη θνησιμότητα, κατά 2,75% και κατά 2,79%. Οι υπόλοιποι ατμοσφαιρικοί ρύποι είχαν πολύ μικρότερα αποτελέσματα συσχετίσεων (O_3 : 0,54%, NO_2 : 0,69%, SO_2 : 0,14). Παράλληλα, κατά τη προσπάθεια εντοπισμού μη γραμμικών συσχετίσεων ανάμεσα στις εισαγωγές και στις κλιματικές παραμέτρους διαπιστώνεται ότι η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αρκετά ευάλωτη όταν εισέρχονται μέσα στο υπόδειγμα κλιματικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία (Schwartz *et al.*, 1997). Ο ίδιος ερευνητής, το 1999, σε μια μελέτη για ηλικιωμένους πολίτες 8 πόλεων των Η.Π.Α. επικέντρωσε ολόκληρο το ερευνητικό του ενδιαφέρον στους δυο παραπάνω ρύπους (μέσω χρήσης της παλινδρόμησης Poisson) και παρατήρησε ότι σε ημερήσιες διακυμάνσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, της τάξεως των $25 \mu g/m^3$ και του μονοξειδίου του άνθρακα, της τάξεως των 1,75 ppm, εμφανίζεται μια αντίστοιχη αύξηση των εισαγωγών κατά 2,48% και κατά 2,79%. Παράλληλα, οι συγκεκριμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι εμφανίστηκαν ανεξάρτητοι από τις τοπικές κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής (Schwartz *et al.*, 1999).

2.3.5.4 Καναδάς (1981-1991).

Ο Burnett *et al.*, (1997) σε μια έρευνα για δέκα από τις μεγαλύτερες πόλεις του Καναδά και για τη χρονική περίοδο 1981-1991, ξεχώρισε το μονοξείδιο του άνθρακα ως το ρύπο με την εντονότερη επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία. Σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα από 1 σε 3 ppm παρατηρήθηκε μια αντίστοιχη αύξηση του σχετικού κινδύνου εισαγωγής στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια κατά 1,065 (RR), χωρίς να παρουσιάζονται σοβαρές διαφοροποιήσεις των αποτελεσμάτων, όταν εμπλέκονται κλιματικοί παράγοντες στο υπόδειγμα (Burnett *et al.*, 1997).

2.3.5.5 Λονδίνο (1976-1995).

Για την πόλη του Λονδίνου, για τη χρονική περίοδο 1976 - 1995, πραγματοποιήθηκε μια διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στη θνησιμότητα, το ψύχος και την

ατμοσφαιρική ρύπανση. Για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο της μελέτης διακρίνεται μια γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στη θνησιμότητα και τη μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος διακρίνεται (από 15°C έως 0°C). Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων φανερώνουν ότι οι μέρες με τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης είναι αντίστοιχα και οι πιο κρύες, με ανέμους περιορισμένης έντασης και λίγες βροχοπτώσεις (Keatinge *et al.*, 2001).

Στη συνέχεια, μέσω υποδειγμάτων πολλαπλής παλινδρόμησης, εξετάζεται η συσχέτιση της θνησιμότητας για ηλικίες άνω των 50 ετών, περιλαμβάνοντας όλες τις παραπάνω μεταβλητές μέσα υπόδειγμα. Τα αποτελέσματα εμφανίζουν μια αύξηση των θανάτων, της τάξεως του 2,77 ανά εκατομμύριο για κάθε βαθμό πτώσης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ενώ κάτι αντίστοιχο δεν παρατηρείται για την περίπτωση εξέτασης των ατμοσφαιρικών ρύπων ή των υπόλοιπων κλιματικών παραμέτρων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το 99% από το διοξείδιο του θείου (SO₂) εισπνέετε μέχρι τους ανώτερους αεραγωγούς του ανθρώπινου οργανισμού και προτού φτάσει στους πνεύμονες εκπνέεται. Από την άλλη, τα αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζουν κάποια μικρή συσχέτιση με τη θνησιμότητα, κάτι που ερμηνεύεται από το γεγονός ότι διεισδύουν βαθύτερα μέσα στο αναπνευστικό σύστημα προκαλώντας ερεθισμούς και φαγοκύτωση των μακροφάγων κυττάρων των πνευμόνων. Σημαντικό ρόλο έχει επίσης και ο εξοπλισμός με τον οποίο είναι εφοδιασμένοι οι πολίτες για την αντιμετώπιση των ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. οι κάτοικοι της Σιβηρίας) με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις στα αποτελέσματα παρόμοιων συγκεντρώσεων ρύπων σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη (Keatinge *et al.*, 2001).

2.3.5.6 Ν. Κορέα (1991-1997)

Η συσχέτιση ανάμεσα σε υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της θνησιμότητας, εξετάζεται σε εφτά από τις μεγαλύτερες πόλεις της Κορέας, για τη χρονική περίοδο 1991-1997. Η θνησιμότητα να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις από πόλη σε πόλη. Το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια, μέσα από απλά υποδείγματα παλινδρόμησης, εμφανίζουν σημαντική στατιστική συσχέτιση με τη θνησιμότητα. Σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του SO₂ κατά 50 ppb παρατηρείται μια διακύμανση στην αύξηση της θνησιμότητας, αναλόγως με την πόλη, της τάξεως του 1 - 12% (κάτω από σταθερές κλιματικές συνθήκες). Αντίστοιχα για τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), σε μια αύξηση κατά 100 μg/m³ της συγκέντρωσης τους παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση της θνησιμότητας, της τάξεως του 0,5 - 4%, ενώ σε μερικές πόλεις όπου η θνησιμότητα εμφανίζει υψηλά επίπεδα, τα αντίστοιχα επίπεδα των ρύπων δεν είναι τα υψηλότερα της έρευνας ή μπορεί να είναι ακόμα και τα χαμηλότερα. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, από μόνες τους, δεν αποτελούν το μοναδικό παράγοντα επίδρασης στην ανθρώπινη θνησιμότητα. Σε περαιτέρω ανάλυση και με την βοήθεια γενικευμένων αθροιστικών υποδειγμάτων γίνεται ο υπολογισμός της επίδρασης των ρύπων, ενώ με τη βοήθεια ενός συντελεστή εξομάλυνσης, επιτυγχάνεται ο έλεγχος επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της υγρασίας στην παραπάνω συσχέτιση. Οι ακραίες τιμές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος, ελάχιστες και μέγιστες, συσχετίζονται με θανάτους περισσότερο από τις μέσες (Lee *et al.*, 2000).

Η διαφορετική χημική σύσταση των ρύπων, ανά περιοχή, ευθύνεται για την έντονη διακύμανση των επιδράσεων των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP) στα

αποτελέσματα. Ωστόσο τα TSP δεν αποτελούν τα κατάλληλα υποκατάστατα των λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} , $PM_{2.5}$), τα οποία αποτελούν αποδεδειγμένη απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Παράγοντες οι οποίοι θεωρούνται υπεύθυνοι για την έντονη διακύμανση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα από περιοχή σε περιοχή είναι ο τύπος και η σύσταση του καυσίμου, οι εστίες εκπομπής της κάθε περιοχής, η παρουσία μεγάλων στατικών πηγών, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωγραφική τοποθεσία κ.ά. Άλλοι παράγοντες, ο οποίοι επηρεάζουν την διακύμανση των αποτελεσμάτων, είναι ο αριθμός των σταθμών μέτρησης και καταγραφής των κλιματικών παραμέτρων και των ατμοσφαιρικών ρύπων (κατά πόσο είναι αντιπροσωπευτικός του συνολικού πληθυσμού της πόλης), ο διαφορετικός βαθμός ευαισθησίας του τοπικού πληθυσμού απέναντι σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος, διάφορα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια τα οποία καθορίζουν την ποιότητα και την επάρκεια του εξοπλισμού του τοπικού πληθυσμού για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων κ.ά. (Lee *et al.*, 2000).

2.3.5.7 Παρίσι (1991-1995).

Σε μελέτη για τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στις επείγουσες κλήσεις των πολιτών της πόλης του Παρισιού για ιατρική φροντίδα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για τη χρονική περίοδο 1991-1995, παρατηρήθηκε μια σημαντική συσχέτιση με το τροποσφαιρικό όζον. Συγκεκριμένα μέσω της χρήσης γενικευμένων αθροιστικών υποδειγμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν και μη παραμετρικές συναρτήσεις εξομάλυνσης με στόχο τον έλεγχο της παρεμβολής των εποχικών παραμέτρων στο υπόδειγμα, παρατηρήθηκε μια σημαντική επίδραση του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία, αυξάνοντας κατά 1,63 (RR) τον κίνδυνο πρόκλησης εμφράγματος του μυοκαρδίου κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης εμφανίστηκε μια χαλαρή συσχέτιση ανάμεσα στο διοξείδιο του αζώτου και του θείου και τις επείγοντες κλήσεις (με μια αύξηση του σχετικού ρίσκου νοσηρότητας κατά 1,22 και 1,24). Η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος φαίνεται να έχει περισσότερο βαρύτητα στη περίπτωση των εισαγωγών εξαιτίας επεισοδίων άσθματος από ότι στα καρδιαγγειακά επεισόδια (Medina *et al.*, 1996).

2.3.5.8 Σάο Πάολο (01/1994-08/1995).

Σε μια έρευνα για την πόλη του Σαο Πάολο, μέσω γενικευμένων προσθετικών Poisson παλινδρομήσεων και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση ατμοσφαιρικών ρύπων, υπολογίστηκαν οι συνολικές εισαγωγές από έμφραγμα του μυοκαρδίου και στηθάγχη. Με τη βοήθεια συναρτήσεων εξομάλυνσης επίσης διερευνήθηκε κατά πόσο άλλοι παράγοντες, όπως οι εποχιακές διακυμάνσεις, επιδρούν στην παραπάνω συσχέτιση. Μέσω μιας στατιστικής συσχέτισης Pearson, οι πρωτογενείς ρύποι βρέθηκαν να παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ανεξαρτησίας με τις καιρικές παραμέτρους και συγκεκριμένα με την ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (PM_{10} : -0,028, CO: -0,020, SO_2 : -0,22). Παράλληλα, παρατηρείται μια μικρή μεταβολή στην επίδραση των ρύπων εξαιτίας της μεταβολής από μια θερμότερη σε μια ψυχρότερη εποχή και με μόνο τα αιωρούμενα σωματίδια να εμφανίζουν αυξημένα αποτελέσματα, κατά τη περίοδο του χειμώνα : PM_{10} : -0,001 warm / 0,002 cool, CO : 0,028 warm / 0,027 cool, SO_2 : 0,005 warm / 0,005 cool, O_3 : 0,003 warm / 0,002 cool. Χαρακτηριστικό είναι ότι το μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο εμφανίζεται ως ο πιο επικίνδυνος ρύπος από όλους τους πρωτογενείς, παρουσιάζει μια σημαντική αύξηση της επίδρασης του στις εισαγωγές από Ο.Ε.Μ., η οποία μπορεί να ανέλθει στη τιμή του

6,4% όταν τα επίπεδα του ξεπεράσουν τα 3,45 ppm στην ατμόσφαιρα (Lin *et al.*, 2003).

Παρόλο τη διακύμανση της συγκέντρωσης των ρύπων ανάμεσα στις θερμές και στις ψυχρές εποχές του έτους, τα αποτελέσματα των συσχετίσεων τους με τις εισαγωγές των πολιτών δεν μεταβάλλονται σημαντικά εξαιτίας της εποχικότητας, κάτι που αποτελεί εξαίρεση σε σχέση με άλλες μελέτες. Αυτό αποδίδεται στις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες της περιοχής, στο μόνιμο κυκλοφοριακό πρόβλημα της πόλης, όπως και στον εξοπλισμό προστασίας, απέναντι σε ακραία καιρικά φαινόμενα, των πολιτών και των κατοικιών τους. Το Σάο Πάολο δεν θεωρείτε ψυχρή πόλη, σε σύγκριση με αντίστοιχες μεγάλες πόλεις της Ευρώπης και των Η.Π.Α., με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη ζήτηση και κατανάλωση σε πετρέλαιο θέρμανσης τη περίοδο του χειμώνα. Από την άλλη οι πολυάριθμες κινητές πηγές ρύπανσης της πόλης, στις οποίες αναλογούν 4,500,000 οχήματα σε 10,000,000 κάτοικους, ευθύνονται για την παρουσία του 50% των αιωρούμενων σωματιδίων, του 70% του διοξειδίου του θείου, του 95% του διοξειδίου του αζώτου και του 97% του μονοξειδίου του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα της πόλης. Τα παραπάνω ποσοστά είναι ιδιαίτερα υψηλά ώστε να επηρεαστούν σημαντικά από κάποιες άλλες σημειακές εποχιακές πηγές (Lin *et al.*, 2003).

2.3.5.9 Μιλάνο (1980-1989).

Σε μελέτη που έγινε στην πόλη του Μιλάνου, για τη χρονική περίοδο 1980-1989, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση, τον καιρό και την ημερήσια θνησιμότητα. Μέσω γενικευμένων αθροιστικών μοντέλων, Poisson παλινδρόμησης, υπολογίστηκε η συσχέτιση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και στη θνησιμότητα. Σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου κατά $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση της τάξεως του 21%, για οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου και ένα 10% στο γενικό σύνολο των θανάτων από καρδιαγγειακά επεισόδια.

Παράλληλα, μέσω της χρήσης συναρτήσεων εξομάλυνσης στο υπόδειγμα, διερευνήθηκε η επίδραση των κλιματικών παραμέτρων στη θνησιμότητα όπου παρατηρήθηκε ένας αυξημένος κίνδυνος πρόκλησης της, από καρδιαγγειακά αίτια (χωρίς κάποια χρονική καθυστέρηση εμφάνισης τους), στις υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (RR : 1.47). Προστατευτικό ρόλο στη θνησιμότητα έδειξε να έχει η μείωση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό μέχρι τους 20°C , ενώ κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, η θνησιμότητα αρχίζει πάλι να αυξάνεται (σχήμα U). Σε μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (28°C - 29°C), όπως και πάνω από αυτές, παρατηρήθηκε μια αύξηση του κινδύνου θνησιμότητας κατά 1.14 (RR) (Rossi *et al.*, 1999).

2.3.5.10 Βαλένθια (1994-1995).

Σε μια μελέτη για την πόλη της Βαλένθιας, για τη χρονική περίοδο 1994-1996, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στις εισαγωγές στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά και εγκεφαλικά επεισόδια. Εξετάστηκε επίσης, μέσω αυτοπαλινδρομων υποδειγμάτων Poisson, η συσχέτιση μερικών από τους βασικότερους πρωτογενείς ρύπους της αστικής ατμόσφαιρας και

του όζοντος από τους δευτερογενείς, ακολουθώντας την τυποποιημένη μεθοδολογία του προγράμματος Arhea (περιλαμβάνοντας όμως κάποιες μικρές τροποποιήσεις, βάση του αντίστοιχου Ισπανικού προγράμματος EMECAM).

Παράλληλα, διερευνήθηκε η συμμετοχή κάποιων συγχυτικών παραγόντων, όπως η εποχικότητα, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η υγρασία και ο συνεργισμός ανάμεσα στους ρύπους και τις επιδράσεις τους. Αποτελέσματα των παραπάνω συσχετίσεων εμφανίζουν μια εποχιακή συσχέτιση των καρδιαγγειακών επεισοδίων με την περίοδο του χειμώνα, όπως και μια αντίστοιχη τάση συσχέτισης βασικών πρωτογενών ρύπων (καπνός, CO, SO₂) με αυτήν, αλλά και μεταξύ τους. Το όζον δείχνει να συσχετίζεται περισσότερο με την θερινή περίοδο. Συγκεκριμένα, μια αύξηση της ημερήσιας συγκέντρωσης του διοξειδίου θείου κατά 10 μg/m³ συσχετίζεται με μια αντίστοιχη αύξηση της τάξεως του 3,0% εισαγωγών στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια. Μια παρόμοια αύξηση για το διοξείδιο του αζώτου συσχετίστηκε με μια αντίστοιχη της τάξεως του 3,6% στις εισαγωγές από εγκεφαλικά επεισόδια.

Κατά την προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης συγχυτικών παραγόντων στην συσχέτιση της ρύπανσης με τις εισαγωγές, οι πρωτογενείς ρύποι (καπνός, CO, SO₂) εμφανίζουν μια προτίμηση στη θερμότερη περίοδος του έτους. Συγκεκριμένα εμφανίζουν μια αύξηση του σχετικού κινδύνου εισαγωγών, για τη περίπτωση του καπνού, κατά 1,038 (RR), για το διοξείδιο του θείου (σε 24ωρη μέτρηση της τιμής του) κατά 1,050 (RR), και για το μονοξείδιο του άνθρακα (σε ωριαία μέτρηση της τιμής του) κατά 1,029 (RR). Σε αρκετές Μεσογειακές πόλεις, όπως και στη Βαλένθια, τα αποτελέσματα της συσχέτισης ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την θνησιμότητα είναι αυξημένα κατά τις θερμότερες εποχές του έτους. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι κατά τους θερμότερους μήνες του έτους οι πολίτες, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος, μεταβάλλουν κάποιες καθημερινές τους συνήθειες, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη επιβάρυνση τους από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Για παράδειγμα, εξαιτίας των ήπιων κλιματικών συνθηκών οι πολίτες είναι διαρκώς εκτεθειμένοι σε υψηλές συγκεντρώσεις των ρύπων, διότι περιφέρονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα στα αστικά κέντρα. Υπάρχει επίσης η πιθανότητα να εισέλθουν σημαντικές συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό των σπιτιών εξαιτίας της συνεχής εναλλαγής, από τους πολίτες, του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα με στόχο τον καλό αερισμό των κατοικιών τους (Ballester *et al.*, 2000).

Σημαντικό ρόλο έχει το γεγονός ότι επειδή το κλίμα της πόλης είναι αρκετά ήπιο, με ελάχιστες ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες την περίοδο του χειμώνα ο οποίος δεν συνδέονται άμεσα με την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων. Για παράδειγμα, ενώ η χαμηλότερη μέση 24ωρη θερμοκρασία περιβάλλοντος για την χρονική περίοδο της μελέτης είναι 6,6°C, σε άλλες ψυχρότερες πόλεις, όπως στο Σικάγο, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος σε περίοδο με δριμύ ψύχος είναι μόλις 4,4°C. Όσον αφορά το δυνητικό ρόλο επίδρασης του καθένα χωριστά, από τους πρωτογενείς ρύπους που κυριαρχούν στην ατμόσφαιρα της πόλης, είναι δύσκολο να εντοπιστεί εξαιτίας της υψηλής συσχέτισης ανάμεσα τους (Ballester *et al.*, 2000).

2.3.5.11 Διοξείδιο του θείου (SO₂), καπνός (BS) – 12 Ευρωπαϊκές πόλεις.

Σε μια μελέτη για 12 πόλεις της Ευρώπης (Αθήνα, Βαρκελώνη, Μπρατισλάβα, Κρακοβία, Κολωνία, Λοντζ, Λονδίνο, Λυών, Μιλάνο, Παρίσι, Πόζναν, Βαρσοβία) έγινε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στην ημερήσια θνησιμότητα και την

αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, των αιωρούμενων σωματιδίων και του καπνού. Μέσω της χρήσης αθροιστικών στατιστικών υποδειγμάτων (GAM), ερευνήθηκε η επίδραση των ρύπων όταν η μέση ημερήσια συγκέντρωση τους δεν ξεπερνά τα 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, όπως και μέσω Poisson αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων, υπολογίστηκε η παρεμβολή διαφορετικών κλιματικών συνθηκών (ανά εποχή). Στα αποτελέσματα των παραπάνω συσχετίσεων παρατηρείται συνολικά μια αύξηση της τάξεως του 3% στην ημερήσια θνησιμότητα όταν η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου και του καπνού αντίστοιχα αυξηθούν κατά 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ επίσης παρατηρείται μια αύξηση της τάξεως του 2% στην ημερήσια θνησιμότητα σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}). Σε έναν έλεγχο των επιδράσεων της ρύπανσης στις πόλεις της Κεντροανατολικής παρατηρείται μια αύξηση της θνησιμότητας για τους πρώτους δυο ρύπους (SO_2 , καπνού) κατά 1%, ενώ για τα PM_{10} παρατηρείται μια αύξηση κατά 4% (μόνο στη Μπρατισλάβα, διότι είναι η μόνη από τις πόλεις της Ανατολικής Ευρώπης στην οποία μετρήθηκε ο συγκεκριμένος ρύπος). Παράλληλα στις πόλεις της Δυτικής Ευρώπης παρατηρείται μια αύξηση της θνησιμότητας κατά 3% για τους πρώτους δυο ρύπους (SO_2 , καπνού) ενώ για τα PM_{10} παρατηρείται μια αύξηση κατά 2% (Παρίσι, Λυών και Κολωνία).

Κατά τη θερινή περίοδο παρατηρούνται ισχυρότερες επιδράσεις εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης των ρύπων στις πόλεις της Δυτικής Ευρώπης (SO_2 : 1,040, BS: 1,040, PM_{10} : 1.043) σε σύγκριση με των αντίστοιχων πόλεων της Κεντροανατολικής Ευρώπης (SO_2 : 1,011, BS: 1,013, PM_{10} : 1,053). Κατά τη χειμερινή περίοδο, τα αποτελέσματα, ανά γεωγραφικής περιφέρειας της κάθε πόλης, είναι σχετικώς πιο ισορροπημένα ανάμεσα στη δυτική (SO_2 : 1,024, BS: 1,024, PM_{10} : 1,010) και στην Κεντροανατολική Ευρώπη (SO_2 : 1,008, BS: 1,005, PM_{10} : 1,019). Η διακύμανση των αποτελεσμάτων, ανά γεωγραφική περιοχή, μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικές του πληθυσμού που εκθέτεται σε αυτές, όπως και από το ότι η κατάσταση της υγείας των πολιτών είναι διαφορετική για κάθε πόλη. Τέτοιες διαφορές αποτελεσμάτων δικαιολογούν και οι διακυμάνσεις της τοξικότητας των ρύπων, εξαιτίας των διαφορετικών πηγών ρύπανσης για κάθε περιοχή, όπως και της ποιότητας των καυσίμων. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο τα χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης των ρύπων (κάτω από τα Εθνικά και Διεθνή πρότυπα στις περισσότερες πόλεις της μελέτης) οι συνέπειες τους στην ανθρώπινη υγεία είναι αρκετά σημαντικές (Katsouyanni *et al.*, 1997).

2.3.5.12 Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) – 22 Ευρωπαϊκές πόλεις.

Κατά την διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) και στην ανθρώπινη θνησιμότητα (αφορώντας 22 Ευρωπαϊκές πόλεις του προγράμματος Arhea-2), μέσω μιας παλινδρόμησης Poisson, εξετάστηκε και η παρεμβολή διαφόρων συγχετιζόμενων παραγόντων, όπως της θερμοκρασίας, της ηλικίας, της μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου και της γεωγραφικής περιοχής.

Τα αποτελέσματα εμφανίζουν μια αύξηση συνολικά της θνησιμότητας κατά 0.4% σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων από 50 σε 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, όπως και μια αύξηση της θνησιμότητας, από αναπνευστικά και καρδιαγγειακά επεισόδια, κατά 0.5%. Οι καμπύλες των διαγραμμάτων (των αποτελεσμάτων των συσχετίσεων), ανά γεωγραφική περιοχή, εμφανίζονται παρόμοιες ανάμεσα στις πόλεις της Δυτικής και της Νότιας Ευρώπης, με μια πιο απότομη ανοδική κλίση για τις τελευταίες, ενώ οι καμπύλες των διαγραμμάτων της Ανατολικής Ευρώπης εμφανίζουν ηπιότερες

κλίσεις. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της μέσης συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου εμφανίζουν παράλληλη πορεία με αυτήν της θνησιμότητας. Τέλος, η αύξηση της ηλικίας των ασθενών δείχνει να έχει θετική επίδραση στην αύξηση της θνησιμότητας.

Η αυξητική τάση της θνησιμότητας των πόλεων της Νοτίου Ευρώπης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, ερμηνεύεται από το γεγονός ότι στις θερμότερες Μεσογειακές χώρες όπου επικρατούν ηπιότερες κλιματικές συνθήκες οι πολίτες είναι διαρκώς εκτεθειμένοι με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους είτε εξαιτίας των πολύωρων πεζοποριών είτε από την συνεχή εναλλαγή ατμοσφαιρικού αέρα εντός και εκτός των κατοικιών τους μέσα στα επιβαρημένα αστικά κέντρα των πόλεων. Η συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με το διοξείδιο του αζώτου, ο οποίος είναι ένας κατεξοχήν δευτερογενής ρύπος της ατμόσφαιρας, προερχόμενος από την κυκλοφορία των οχημάτων στα αστικά κέντρα, φανερώνει τον υψηλό βαθμό τοξικότητας που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια (τα οποία ουσιαστικά προέρχονται από την ίδια πηγή) (Samoli *et al.*, 2005).

2.3.5.13 Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) - 8 Ευρωπαϊκές πόλεις.

Σε μια μελέτη για 8 πόλεις της Ευρώπης (Βαρκελώνη, Λονδίνο, Μιλάνο, Ολλανδία, Παρίσι, Μπερμινγχαμ, Ρώμη, Στοκχόλμη) έγινε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και των εισαγωγών στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια. Όλες οι εισαγωγές των ασθενών μέσα στο υπόδειγμα είναι ταξινομημένες ανά ηλικία ενώ μέσω αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων Poisson ελέγχονται οι επιδράσεις άλλων παραγόντων (εποχικότητας, επιδημιών γρίπης, κλιματικοί) στην παραπάνω συσχέτιση. Επίσης, εξετάζεται και ο συνεργισμός ανάμεσα στους ρύπους και της συνδυασμένης επίδρασης τους στην ανθρώπινη υγεία.

Σε μια αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀), για όλες τις πόλεις της έρευνας, παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση των ημερήσιων εισαγωγών, (εκτός από το Μπερμινγχαμ). Οι συγκεντρώσεις των ρύπων, στο Λονδίνο και στο Μιλάνο, παρουσιάζουν μια έντονη θετική συσχέτιση με τις εισαγωγές των ασθενών και ιδιαίτερα στη περίπτωση της ομάδας των ηλικιωμένων πολιτών (>65). Συγχωνευμένες εκτιμήσεις, από όλες τις πόλεις μαζί, εμφανίζουν μια αύξηση κατά 0,5% των εισαγωγών εξαιτίας καρδιαγγειακών επεισοδίων, ανεξάρτητου ηλικιακής ομάδας, μια αύξηση κατά 0,7% των εισαγωγών εξαιτίας καρδιαγγειακών επεισοδίων για την ομάδα των ηλικιωμένων (>65), όπως και μια μηδενική συσχέτιση για τα εγκεφαλικά επεισόδια. Τοποθετώντας στο στατιστικό υπόδειγμα και άλλους ρυπαντές, ώστε να ελεγχθεί ο συνεργισμός τους με τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀), παρατηρείται μια σταθεροποίηση των αποτελεσμάτων στην περίπτωση του όζοντος (O₃), μια αύξηση από 0,7% σε 0,9% των εισαγωγών για την ομάδα των ηλικιωμένων στη περίπτωση του διοξειδίου του θείου (SO₂), μια μείωση από 0,5 σε 0,2 των εισαγωγών για όλες τις ηλικιακές ομάδες στη περίπτωση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και του καπνού, όπως και μια σημαντική μείωση από 0,5 σε -0,5 των εισαγωγών για όλες τις ηλικιακές ομάδες στην περίπτωση του διοξειδίου του αζώτου.

Η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων, για τις 8 Ευρωπαϊκές πόλεις, εμφανίζεται μειωμένη στο μισό από μια αντίστοιχη επίδραση που παρουσιάζεται για πόλεις των Η.Π.Α. Παρατηρείται επίσης ότι τα αποτελέσματα δεν μεταβάλλονται σημαντικά

όταν παρεμβάλλονται στο υπόδειγμα συγκεκριμένοι ρύποι, όπως το όζον και το διοξείδιο του θείου. Ο πρώτος, είναι ένας δευτερογενής ρύπος, ο οποίος προέρχεται από φωτοχημικές διεργασίες και ευνοεί τον σχηματισμό αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, αλλά σε διαφορετικό χρόνο. Ο δεύτερος, είναι ένας βασικός πρωτογενής ρύπος των αστικών περιοχών, που προέρχεται κυρίως από τις μονάδες κεντρικής θέρμανσης των κατοικιών. Αντίθετα, όταν ενσωματώνεται το μονοξείδιο του άνθρακα στο υπόδειγμα η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων μειώνονται σημαντικά, όπως και εξαλείφεται στην περίπτωση παρεμβολής του διοξειδίου του αζώτου. Αξίζει να λάβουμε υπόψη ότι το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας κατεξοχήν πρωτογενής ρύπος προερχόμενος από την κυκλοφορία των οχημάτων στα αστικά κέντρα και συγκεκριμένα από τους βενζινοκινητήρες, όπως και ότι το διοξείδιο του αζώτου είναι ένας δευτερογενής ρύπος συνδεδεμένος και αυτός με την κυκλοφορία οχημάτων και τους πετρελαιοκινητήρες (ή τους μη καταλυτικούς βενζινοκινητήρες). Από την στιγμή που τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μια τόσο μεγάλη συσχέτιση με τους δυο παραπάνω ρύπους συμπεραίνουμε ότι για την συγκεκριμένη έρευνα, προέρχονται κυρίως από κινητές εστίες εκπομπών (Tetre *et al.*, 2002)

2.3.5.14 Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀) - 10 Ευρωπαϊκές πόλεις.

Σε μια μελέτη για 10 πόλεις της Ευρώπης (Αθήνα, Βουδαπέστη, Λοντζ, Λονδίνο, Μαδρίτη, Παρίσι, Πράγα, Ρώμη, Στοκχόλμη, Τελ-Αβιβ) έγινε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και της ανθρώπινης θνησιμότητας εξαιτίας αναπνευστικών και καρδιαγγειακών αιτιών (λαμβάνοντας υπόψη και την περίπτωση μεγάλης χρονικής καθυστέρησης εμφάνισης των κρουσμάτων, έως και 40 ημέρες). Παρατηρήθηκε μια αύξηση των θανάτων κατά 4,2% εξαιτίας αναπνευστικών προβλημάτων σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στη περίπτωση που το υπόδειγμα περιλαμβάνει μια μόνο ημέρα καθυστέρησης η θνησιμότητα αυξάνεται μόλις κατά 0,74%. Για την περίπτωση των καρδιαγγειακών επεισοδίων (και όταν το υπόδειγμα περιλαμβάνει 40 ημέρες καθυστέρησης) παρατηρείται μια αύξηση κατά 1,97% σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται μια σημαντική μεταβολή του ποσοστού της θνησιμότητας όταν υπάρχει χρονική καθυστέρηση στο στατιστικό υπόδειγμα, η οποία είναι πιο έντονη στην περίπτωση των αναπνευστικών επεισοδίων. Το γεγονός αυτό η ιατρική επιστήμη το δικαιολογεί εξαιτίας των χρονοβόρων διεργασιών που απαιτούνται για την εμφάνιση νόσων, όπως της πνευμονίας και διαφόρων παθήσεων του αναπνευστικού, σε αντίθεση με τα καρδιαγγειακά επεισόδια τα οποία εμφανίζονται πιο άμεσα (Zanobetti *et al.*, 2003).

2.3.5.15 Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}) – 6 Αμερικάνικες πόλεις.

Μια διερεύνηση των πηγών προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5}) (για 6 πόλεις των Η.Π.Α. και για τη χρονική περίοδο 1979-1988) πραγματοποιήθηκε βάση της χημικής τους σύνθεσης που απαντάται ανά πόλη. Τα σωματίδια για τις αστικές περιοχές ταξινομήθηκαν σε τρεις βασικές κατηγορίες :

- Στα κρυσταλλικά, τα οποία περιέχουν στοιχεία πυριτίου (Si) (που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης αυτής της κατηγορίας), αργιλίου, σιδήρου, ασβεστίου, καλίου και προέρχονται κυρίως από κονιοποιήσεις σωματιδίων μεγαλύτερου μεγέθους (PM₁₀), από την σκόνη των δρόμων, το χώμα κ.ά.

- Τα σωματίδια κινητών πηγών, τα οποία περιέχουν κατά βάση στοιχεία μολύβδου (Pb) (που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης της κατηγορίας), βρώμιου, χαλκού, νικελίου και τα οποία προέρχονται από καυσαέρια κυρίως βενζινοκίνητων οχημάτων.
- Τα σωματίδια άνθρακα, τα οποία περιέχουν κατά βάση στοιχεία σεληνίου (Se) (που είναι και ο δείκτης αναγνώρισης της κατηγορίας), θείου, βαναδίου, μαγνησίου, καλίου και τα οποία προέρχονται κυρίως από σταθερές εστίες καύσης (κεντρικών θερμάνσεων, βιομηχανίες).

Μέσω χρήσης των γενικευμένων αθροιστικών μοντέλων και της παλινδρόμησης Poisson, διερευνάται η συσχέτιση ανάμεσα στην προέλευση των αιωρούμενων σωματιδίων και τις 6 Αμερικάνικες πόλεις, όπως και μέσω μιας περιστροφικής παραγοντικής ανάλυσης, επιδιώκεται η εκτίμηση του ποσοστού συμμετοχής στην ανθρώπινη θνησιμότητα, που αναλογεί σε κάθε κατηγορία σωματιδίων (κρυσταλλικά, κινητών πηγών, άνθρακα). Κατά τη διερεύνηση της προέλευσης των σωματιδίων, οι κατηγορίες του άνθρακα (Se) και των κινητών πηγών (Pb) έχουν ένα ευδιάκριτο προβάδισμα και για τα 6 αστικά κέντρα της έρευνας : Watertown, Si: 1%, Pb: 29%, Se: 50%, St. Louis: Si: 14%, Pb: 15%, Se: 29%, Kingstone, Si: 8%, Pb: 21%, Se: 32%, Portage, Si: 3%, Pb: 27%, Se: 45%, Steubenville, Si: 14%, Pb: 5%, Se: 63%, Topeka, Si: 8%, Pb: 17%, Se: 57%. Το υπόλοιπο της σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5}) αποτελείται από :

- μικρά ποσοστά βαναδίου (Watertown: 3%, Steubenville: 3%), το οποίο είναι δείκτης καύσης βαριών κλασμάτων πετρελαίου (μαζούτ),
- μικρά ποσοστά μετάλλων (St.Louis: 12%, Kingston: 14%, Steubenville: 8%) όπως ψευδαργύρου και νικελίου, προερχόμενα κυρίως από βιομηχανικές εκπομπές καυσαερίων,
- μικρά ποσοστά αλατιού (Kingstone: 4%), όπως και άλλων υπολειμμάτων άγνωστης χημικής σύστασης και προέλευσης.

Τα αποτελέσματα συσχέτισης της ανθρώπινης θνησιμότητας με τα αιωρούμενα σωματίδια, με βάση τη χημική τους σύσταση, δείχνουν μια έντονη σχέση με αυτά που προέρχονται από κινητές πηγές με μια μέση τιμή αύξησης της θνησιμότητας στο σύνολο των πόλεων κατά 3,4% (Kingstone: 5,2%, Madison: 6,3%, St. Louis: 4,3%) σε μια αντίστοιχα αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου κατά 10 μg/m³. Στην συνέχεια παρατηρήθηκε μια έντονη συσχέτιση με τα σωματίδια άνθρακα, προερχόμενα κυρίως από σταθερές πηγές καύσης, εμφανίζοντας μια μέση τιμή αύξησης της θνησιμότητας στο σύνολο των πόλεων κατά 1,1% (Watertown: 2,8%, Steubenville: 1,1%). Δεν βρέθηκε συσχέτιση ανάμεσα στη θνησιμότητα και στα σωματίδια κρυστάλλων σε καμία από τις 6 πόλεις της έρευνας, κάτι που αποδεικνύει ότι, σε αντίθεση με τα σωματίδια τα οποία προέρχονται από διεργασίες καύσης, αυτή η κατηγορία σωματιδίων (μηχανικής προέλευσης, κονιοποίησης μεγαλύτερων σωματιδίων, τριβής κ.ά.) δεν είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Το γεγονός αυτό, όπως επαληθεύουν μέσα από μια σειρά ερευνών ο Ozkaynak *et al.*, (1987), ο Schwartz *et al.*, (1999,2000), ο Pope *et al.*, (1999), υποδεικνύει ότι τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ που έχουν μεγάλα ποσοστά χημικών στοιχείων στη σύσταση τους και προέρχονται από τις παραπάνω πηγές εκπομπής, δεν συσχετίζονται με την ανθρώπινη θνησιμότητα, τουλάχιστον στο βαθμό που συσχετίζονται τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}).

Αντίθετα, οι δυο άλλες κατηγορίες σωματιδίων ευθύνονται σε σημαντικό βαθμό για την ανθρώπινη θνησιμότητα (εμφανίζοντας όμως διαφορά στο βαθμό επίδρασης τους, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χημική τους σύσταση). Έχει επίσης αποδειχθεί, μέσα από αρκετές μελέτες, ότι σωματίδια τα οποία προέρχονται από σταθερές πηγές καύσης συσχετίζονται περισσότερο με αναπνευστικά προβλήματα, σε αντίθεση με αυτά που προέρχονται από των κινητές πηγές καύσης και τα οποία δείχνουν προτίμηση στα καρδιαγγειακά επεισόδια. Αυτό επαληθεύεται, κατά τον Amdur (1996), από το γεγονός ότι το κύριο συστατικό στοιχείο της πρώτης κατηγορίας σωματιδίων, το θείο σε μορφή αέριου ρυπαντή (SO_2 , H_2SO_4), συσχετίζεται με τη παρουσία αναπνευστικών παθήσεων στις μεγαλουπόλεις (Laden *et al.*, 2000).

2.3.5.16 Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) – 21 Αμερικάνικες πόλεις.

Μέσω διασταυρωμένης ανάλυσης, σε μια βάση δεδομένων με έκτακτες εισαγωγές στα νοσοκομεία 21 διαφορετικών πόλεων των Η.Π.Α. και για τη χρονική περίοδο 1986-1999 έγινε διερεύνηση της υπόθεσης εάν τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) αποτελούν σημαντικό παράγοντα πρόκλησης οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου (Ο.Ε.Μ) στον άνθρωπο. Παράλληλα διερευνήθηκε, η επίδραση στην παραπάνω συσχέτιση της ηλικίας, του φύλου και της περίπτωσης προδιάθεσης εμφάνισης εμφράγματος του ασθενή πριν από την εισαγωγή του.

Τα αποτελέσματα εμφανίζουν μια αύξηση των εισαγωγών από οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου κατά 0,65% σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ με τη παρεμβολή του παράγοντα της θερμοκρασίας το αποτέλεσμα παραμένει σχεδόν ανεπηρέαστο, στο 0,64%. Σε περίπτωση που οι ασθενείς είχαν κάποια προβλήματα στην υγεία τους, όπως υπέρταση, διαβήτη, πνευμονία και άλλων αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων, τα αποτελέσματα διπλασιάστηκαν. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση που ο ασθενής είχε πνευμονία ή κάποια προβλήματα στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, η αύξηση των καρδιαγγειακών εισαγωγών ανήλθε στο 1,4% και 1,3% αντίστοιχα. Η ηλικία των ασθενών δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την παραπάνω συσχέτιση, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία δεν είναι αποκλειστικό φαινόμενο των ηλικιωμένων ατόμων, ενώ από την άλλη το αρσενικό φύλο δείχνει τα υπερτερεί στην εμφάνιση Ο.Ε.Μ. (0,9%), σε σύγκριση με το θηλυκό φύλο (0,5%), (Zanobetti *et al.*, 2005).

2.3.5.17 Όζον (O_3).

Σε μια μελέτη διερεύνησης της επίδρασης του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία (για 23 πόλεις της Ευρώπης και με ελάχιστη χρονική περίοδο τα τρία χρόνια, ξεκινώντας από το έτος 1990) παρατηρήθηκε κατά τη θερινή περίοδο σε μια αύξηση της μέγιστης δωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ μια αύξηση κατά 0,33% της συνολικής θνησιμότητας, μια αύξηση κατά 0,49% των καρδιαγγειακών επεισοδίων και μια αύξηση κατά 1,08% των αναπνευστικών επεισοδίων. Αντίθετα κατά τη περίοδο του χειμώνα, όπου οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις στις περισσότερες πόλεις της μελέτης εμφανίζονται μειωμένες, δεν παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση σε καμιά από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις (0,13%, 0,20%, 0,11%).

Μέσω χρήσης γενικευμένων αθροιστικών μοντέλων και κατά τη διερεύνηση της ύπαρξης συνεργισμού ανάμεσα στο όζον και τους υπόλοιπους ρύπους στην επίδραση της ανθρώπινης υγείας, κατά τη θερινή περίοδο, παρατηρήθηκε μια σημαντική συσχέτιση με το διοξείδιο του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα. Η επίδραση του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία μειώνεται από το 0,33% στο 0,22% με την παρουσία του NO₂ στο υπόδειγμα ενώ αντίθετα αυξάνεται στο 0,44% με την παρουσία του CO στο υπόδειγμα. Τη χειμερινή περίοδο δεν παρατηρείται κάποια συσχέτιση με το διοξείδιο του αζώτου και ενώ το όζον, από μόνο του, δεν συσχετίζεται σημαντικά με τη θνησιμότητα (0,08%) η παρεμβολή των συγκεντρώσεων των υπόλοιπων ρύπων στο υπόδειγμα αυξάνουν την συσχέτιση του με τη θνησιμότητα (CO: 0,25%, SO₂: 0,23%, PM₁₀: 0,22%). Κατά την γεωγραφική κατανομή της επίδρασης του ρύπου, εμφανίζονται υψηλότερα αποτελέσματα στις πόλεις της Νότιας Ευρώπης (0,90%) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα των πόλεων της Βορειοδυτικής (0,54%) και της Κεντροανατολικής Ευρώπης (0,19%).

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος εμφανίζονται σημαντικά αυξημένες την καλοκαιρινή περίοδο σε σύγκριση με τη χειμερινή. Παρομοίως, οι επιδράσεις του ρύπου στην ανθρώπινη υγεία εμφανίζουν αυξημένες τιμές κατά τη θερινή περίοδο, κάτι που οφείλεται κυρίως στην παρατεταμένη έκθεση των πολιτών στους ατμοσφαιρικούς ρύπους εξαιτίας των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, όπως και της συνεχούς εναλλαγής εξωτερικού με εσωτερικού αέρα των κατοικιών με συνέπεια την είσοδο σημαντικών ποσοτήτων όζοντος στο εσωτερικό τους. Η παρουσία ενός ρύπου σε μια αστική περιοχή όπως το όζον το οποίο αποτελεί δευτερογενή τροποσφαιρικό ρύπο και σχηματίζεται μέσω φωτοχημικών διεργασιών της ατμόσφαιρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωση των προδρόμων ουσιών που ευθύνονται για τη δημιουργία του. Η έντονη ηλιακή ακτινοβολία επιταχύνει τη φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου σε μονοξείδιο του αζώτου και ατομικό οξυγόνο, με αποτέλεσμα να αυξάνονται ο αριθμός των ριζών στην ατμόσφαιρα, με τις οποίες ενώνεται το ελεύθερο οξυγόνο και σχηματίζουν το όζον. Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος σε ημέρες με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση και ηλιοφάνεια, εμφανίζονται στη περιφέρεια της μεγαλούπολης, στην οποία υπάρχουν ή μεταφέρονται οι πρόδρομες ουσίες (υδρ/κες, οξείδια του αζώτου) από την πηγή εκπομπής τους και ο σχηματισμός του όζοντος έχει μικρότερο ανταγωνισμό από πρωτογενείς ρύπους, σε αντίθεση με το πυκνοκατοικημένο κέντρο (Gryparis *et al.*, 2004).

Σε μια διερεύνηση της επίδρασης του θερινού καύσωνα της περιόδου 27/06-07-08/1994 στην ανθρώπινη θνησιμότητα, για τη χώρα του Βελγίου (μέσω μεθόδου γενικευμένων ελαχίστων τετραγώνων και μέσω ελέγχου των δεδομένων θνησιμότητας της ίδιας ακριβώς χρονικής περιόδου και για τα προηγούμενα 9 έτη), πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια διαχωρισμού των αποτελεσμάτων σε δυο κατηγορίες ηλικιών (0-65, >65). Μια μεγαλύτερη αύξηση στη θνησιμότητα, της τάξεως του 13,2% εμφανίστηκε για την πιο ηλικιωμένη ομάδα πολιτών σε σύγκριση με την αντίστοιχη αύξηση, της τάξεως του 9,4%, για τη νεότερη ομάδα πολιτών. Μέσω συσχετίσεων Pearson και κατά διερεύνηση της επίδρασης παραγόντων όπως της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης του όζοντος και του συνεργισμού της επίδρασης τους στην ανθρώπινη θνησιμότητα (για όλη τη θερινή περίοδο του συγκεκριμένου έτους 15/05-15/09/1994) παρατηρήθηκαν αντίστοιχα και για τις δυο κατηγορίες πολιτών τα εξής αποτελέσματα : 0,22/ 0,12/ 0,19 (0-65) – 0,53/ 0,50/ 0,58 (>65). Για τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους δεν παρατηρήθηκε κάποια

στατιστικά σημαντική σχέση στα αποτελέσματα της επίδρασης τους ή του συνεργισμού τους με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (Saptor *et al.*, 1995).

Οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συγκεντρώσεων του όζοντος στην ατμόσφαιρα έχουν σαφέστατη αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, βάση των παραπάνω αποτελεσμάτων. Θα μπορούσε όμως να υποθέσει κάποιος ότι το όζον συσχετίζεται με τη θνησιμότητα μόνο εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και της ηλιοφάνειας που συνοδεύουν μια περίοδο καύσωνα. Ο συνεργισμός όμως του ρύπου με την υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, απέναντι στην αύξηση της θνησιμότητας, απορρίπτει μια τέτοια υπόθεση. Σε αντίστοιχες έρευνες, προηγούμενων χρονικών περιόδων, έχουν διαπιστωθεί παρόμοια αποτελέσματα (Marmor, 1978; Rogot *et al.*, 1986) και για τις δυο παραπάνω ηλικιακές κατηγορίες πολιτών. Σε κάποιες άλλες μελέτες (Goldsmith, 1986; Ramlow and Kuller, 1990; Mueller *et al.*, 1973) και ειδικά για την κατηγορία ηλικιωμένων ασθενών (πολιτών υψηλού κινδύνου) όπου δεν βρέθηκε κάποια σχέση με τους παραπάνω παράγοντες, διότι ο εφοδιασμός των νοσοκομείων με συστήματα ψύξεως λειτούργησε προστατευτικά απέναντι στην υψηλή ζέστη και στις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στη συγκεκριμένη όμως έρευνα, οι περισσότερες κατοικίες και νοσοκομεία δεν ήταν εφοδιασμένες με τέτοια συστήματα, με αποτέλεσμα ο μόνος τρόπος εξαερισμού των κλειστών χώρων να είναι η εναλλαγή εξωτερικού και εσωτερικού αέρα και με συνέπεια την διαρκή εισβολή του ρύπου στους εσωτερικούς χώρους (Saptor *et al.*, 1995).

ΜΕΡΟΣ 2°.

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, αναφορικά με τις επιπτώσεις των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων στον άνθρωπο, έγινε στη παρούσα μελέτη μία προσπάθεια αποτύπωσης του εν λόγω φαινομένου στην πόλη της Αθήνας. Σκοπός της μελέτης ήταν ερευνηθεί κατά πόσο συγκεκριμένοι ατμοσφαιρικοί τύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O_3), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} , $PM_{2.5}$) και το διοξείδιο του θείου (SO_2), συσχετίζονται με τον αριθμό των εισαγωγών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο σε νοσοκομεία της ευρύτερης περιφέρειας των Αθηνών και για μια χρονική διάρκεια 20 μηνών, αφού ληφθούν υπόψη και κλιματικοί παράγοντες. Αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η συλλογή, η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων από τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, τις έκτακτες εισαγωγές των Αθηναίων πολιτών στα νοσοκομεία της πόλης και τις τιμές των κλιματικών παραμέτρων. Η χρονική περίοδος για την οποία αναφέρονται τα δεδομένα της μελέτης και εξετάζεται η στατιστική τους συσχέτιση είναι από την 1^η Ιανουαρίου 2001 έως την 31^η Αυγούστου 2002. Η επεξεργασία των δεδομένων βασίστηκε στο πρωτόκολλο του προγράμματος APHEA-2. Οι κυρίαρχοι στόχοι της δημιουργίας του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η επίτευξη επάρκειας δεδομένων σχετιζόμενα με θέματα υγείας και περιβάλλοντος, η ορθή ανάλυση και ερμηνεία τους, όπως και η αποτελεσματική διάχυση τους στο ευρύτερο ενδιαφερόμενο κοινό. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων (κλιματικών, τιμών ρύπων και εισαγωγών), πραγματοποιείται μέσω γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (με παλινδρόμηση Poisson).

3.2 Ρύποι

3.2.1. Τύπος δεδομένων.

Τα δεδομένα των ρύπων ελήφθησαν σε ωριαίες τιμές, περιλαμβάνοντας όλο το 24ωρο όπως και όλες τις ημέρες της χρονικής περιόδου της έρευνας. Ελήφθησαν σε μορφή δεδομένων αρχείου (file.data) και μετατράπηκαν σε μορφή φύλλου εργασίας (excel), με στόχο την επεξεργασία και την συσχέτιση τους με τα δεδομένα των υπόλοιπων παραμέτρων της έρευνας.

Οι ρύποι με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας αλλά και του πρωτοκόλλου του APHEA-2, είναι το όζον (O_3), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2.5}$), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το

διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Οι ημερήσιες τιμές ανά ρύπο, οι οποίες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το αντικείμενο της συγκεκριμένης έρευνας είναι :

-Για το όζον (O₃) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) οι μέσες και μέγιστες ημερήσιες τιμές όπως και οι μέγιστες ημερήσιες κυλιόμενες οκτάωρες τιμές τους.

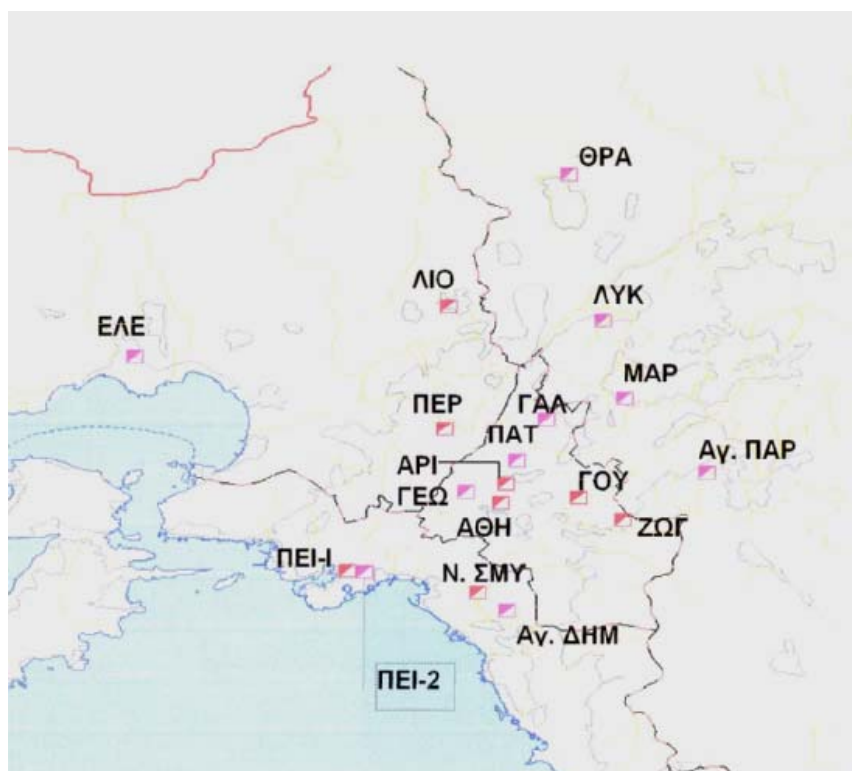
-Για όλους τους υπόλοιπους ρύπους (NO, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂) ενδιαφέρον έχουν μόνο οι μέσες και μέγιστες ημερήσιες τιμές τους.

3.2.2 Πηγές δεδομένων.

Η πηγή των δεδομένων για τους παραπάνω ρύπους είναι το Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας το οποίο ανήκει στη Δ/νση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής των Αθηνών. Οι σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αττικής που μας ενδιαφέρουν είναι 16 και έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

-Αθηνάς (Γεωγρ. μήκος : 23° 43' 30'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 58' 42'', υψόμετρο : μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-κυκλοφορίας).
-Αριστοτέλους (Γεωγρ. μήκος : 23° 43' 39'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 59' 16'', υψόμετρο : 95 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός- Κυκλοφορίας).
-Αγ. Παρασκευή (Γεωγρ. μήκος : 23° 49' 10'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 59' 42'', υψόμετρο : 290 μέτρα, χαρακτηρισμός : Περιαστικός- Υποβάθρου).
-Βιομηχανικής Σχολής Πειραιά (Γεωγρ. μήκος : 23° 39' 10'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 56' 32'', υψόμετρο 25 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Υποβάθρου).
-Γαλάτσι (Γεωγρ. μήκος : 23° 44' 53'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 01' 13'', υψόμετρο : 145 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Υποβάθρου).
-Γεωπονική (Γεωγρ. μήκος : 23° 42' 25'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 59' 01'', υψόμετρο : 50 μέτρα, χαρακτηρισμός : Περιαστικός- Βιομηχανικός).
-Γουδί (Γεωγρ. μήκος : 23° 46' 04'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 59' 04'', υψόμετρο : 155 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Κυκλοφορίας).
-Θρακομακεδόνες (Γεωγρ. μήκος : 23° 45' 29'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 08' 37'', υψόμετρο 550 μέτρα, χαρακτηρισμός : Περιαστικός- Υποβάθρου).
-Λιόσια (Γεωγρ. μήκος : 23° 41' 52'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 04' 36'', υψόμετρο : 165 μέτρα, χαρακτηρισμός : Περαιστικός-Υποβάθρου).
-Λυκόβρυση (Γεωγρ. μήκος : 23° 46' 35'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 04' 11'', υψόμετρο : 210 μέτρα, Χαρακτηρισμός : Περιαστικός).
-Μαρούσι (Γεωγρ. μήκος : 23° 47' 14'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 01' 51'', υψόμετρο : 145 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Κυκλοφορίας).
-Νέα Σμύρνη (Γεωγρ. μήκος : 23° 42' 54'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 55' 58'', υψόμετρο : 50 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Υποβάθρου).
-Πανεπιστημιούπολη Αθηνών (Γεωγρ. μήκος : 23° 47' 13'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 58' 11'', υψόμετρο : 245 μέτρα, χαρακτηρισμός : Περιαστικός- Υποβάθρου).
-Πατησίων (Γεωγρ. μήκος : 23° 43' 59'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 59' 57'', υψόμετρο : 105 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Κυκλοφορίας).
-Περιστέρι (Γεωγρ. μήκος : 23° 41' 46'', Γεωγρ. πλάτος : 38° 00' 55'', υψόμετρο : 80 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Υποβάθρου).
-Πειραιάς (Γεωγρ. μήκος : 23° 38' 51'', Γεωγρ. πλάτος : 37° 56' 36'', υψόμετρο : 20 μέτρα, χαρακτηρισμός : Αστικός-Κυκλοφορίας).

Στη εικόνα 3.1 απεικονίζονται όλοι οι σταθμοί μέτρησης των ρύπων, τιμές των οποίων (εκτός της Ελευσίνας και του Αγ.Δημητρίου) έχει χρησιμοποιήσει η παρούσα εργασία για την επεξεργασία τους και τη στατιστική συσχέτιση τους με τα υπόλοιπα δεδομένα.



Εικόνα 3.1: Σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

Η μέτρηση των ρύπων από το αρμόδιο τμήμα γίνεται σε συνεχή βάση σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με έναν μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής. (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

Οι μέθοδοι μέτρησης των ρύπων από την υπεύθυνη Υπηρεσία του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. είναι, κατά ρύπο, οι εξής : Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR) για το μονοξείδιο του άνθρακα, χημειοφωταύγεια για τα οξείδια του αζώτου, απορρόφηση στο υπεριώδες για το όζον, φθορισμομετρία για το διοξείδιο του θείου και απορρόφηση β'

ακτινοβολίας για τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι παραπάνω ρύποι δίνονται σε μονάδες $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μικρογραμμάριο ανά κυβικό μέτρο αέρα) εκτός του μονοξειδίου του άνθρακα που μετράται σε mg/m^3 (χιλιοστογραμμάριο ανά κυβικό μέτρο αέρα). Οι σταθμοί καταγραφής των ρύπων δεν έχουν τη δυνατότητα μέτρησης όλων των ρύπων που μας ενδιαφέρουν για τα έτη 2001, 2002. Συγκεκριμένα το διοξείδιο και το μονοξείδιο του αζώτου μετρούνται από όλους τους σταθμούς. Το διοξείδιο του θείου μετράται από όλους τους σταθμούς εκτός του Γουδιού, της Λυκόβρυσης και των Θρακομακεδόνων. Το όζον μετράται από όλους τους σταθμούς εκτός της Αριστοτέλους και του Γουδιού. Τα αιωρούμενα σωματίδια των 10 μm μετράται μόνο στους σταθμούς της Αριστοτέλους, της Λυκόβρυσης, του Αμαρουσίου, του Πειραιά, της Αγίας Παρασκευής, του Γουδιού, του Ζωγράφου και των Θρακομακεδόνων. Τα αιωρούμενα σωματίδια των 2,5 μm μετρούνται μόνο στους σταθμούς της Αγ. Παρασκευής, της Λυκόβρυσης, της Πανεπιστημιούπολης και του Πειραιά. Το μονοξείδιο του άνθρακα μετρείται στους σταθμούς της Αθηνάς, της Γεωπονικής, της Λυκόβρυσης, του Αμαρουσίου, της Νέας Σμύρνης, της Πατησίων, του Περισσοῦ και του Πειραιά (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 2003).

3.2.3. Επεξεργασία δεδομένων.

3.2.3.1 Διαμόρφωση αρχείων.

Διαμορφώθηκε ένα ενιαίο αρχείο 608 ημερών, στο οποίο περιλαμβάνονται και τα δύο έτη που ενδιαφέρουν τη μελέτη (2001,2002), για κάθε ρύπο και σταθμό ξεχωριστά (εκτός των τεσσάρων τελευταίων μηνών του δεύτερου έτους). Μέσα σε αυτά τα αρχεία περιέχονται οι 24 ωριαίες τιμές ρύπων και συνολικά δημιουργήθηκαν 79 αρχεία, με το καθένα να περιέχει όλες τις ωριαίες τιμές των ρύπων για 608 ημέρες.

3.2.3.2 Έλεγχος σημαντικού αριθμού έλλειψης τιμών ανά σταθμό.

Εξ' αιτίας κάποιων ελλείψεων στα αρχικά δεδομένα των ωριαίων τιμών των ρύπων πραγματοποιείται έρευνα του ποσοστού κενών, με στόχο την απόρριψη του εκάστοτε σταθμού, για το συγκεκριμένο ρύπο, από την συνέχεια της μελέτης. Αυτό συμβαίνει μόνο στην περίπτωση που οι ελλείψεις αυτές ξεπεράσουν το όριο που θεσπίζει το πρωτόκολλο του APHEA-2 (δηλαδή 25% των μετρήσεων σε ολόκληρη την περίοδο της μελέτης). Αρχικά χαρακτηρίζεται κάθε έλλειψη τιμής με ένα ανεξάρτητο σύμβολο (#), το οποίο δεν περιπλέκει την περαιτέρω επεξεργασία και παράλληλα ελέγχεται εάν το σύνολο τους ξεπερνάει το 25% των συνολικών ωριαίων τιμών του έτους. Εάν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει τότε συνεχίζεται η κανονική ροή των βημάτων της μεθοδολογίας, έως την τελική επεξεργασία των τιμών των ρύπων του εκάστοτε σταθμού.

3.2.3.3 Υπολογισμός της μέσης ημερήσιας τιμής του ρύπου.

Ο υπολογισμός της μέσης ημερήσιας τιμής του ρύπου προέρχεται από το μέσο όρο των ωριαίων τιμών της συγκεκριμένης ημέρας. Συγχρόνως στην ίδια συνάρτηση πραγματοποιείται έλεγχος επάρκειας στις ωριαίες τιμές ανά 24ωρο, ώστε σε περίπτωση που οι ελλείψεις είναι σημαντικές (>25%), να μην επιτραπεί η αναγραφή του αριθμητικού αποτελέσματος (που στην προκειμένη περίπτωση είναι της μέσης ημερήσιας τιμής του ρύπου). Σε μια τέτοια περίπτωση θα πραγματοποιηθεί

συμπλήρωση των κενών θέσεων των τιμών με κατά προσέγγιση υπολογισμούς βασισμένη πάντα στο πρωτόκολλο του APHEA-2. Ειδικά για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας τιμής του όζοντος πραγματοποιείται ειδικός έλεγχος επάρκειας για κάποιες συγκεκριμένες ωριαίες τιμές της ημέρας, στις οποίες έχει ιδιαίτερη σημασία η μέση συγκέντρωση του ρύπου. Οι ελλείψεις των ωριαίων τιμών θεωρούνται σημαντικές, όταν υπερβαίνουν το 25% μεταξύ των ωρών 06:00 και 19:00. Σε περίπτωση που ισχύει κάτι τέτοιο, δεν αναγράφεται η μέση ημερήσια τιμή του συγκεκριμένου ρύπου, ανεξάρτητα από την έλλειψη ή την επάρκεια των υπολοίπων ωριαίων τιμών της ημέρας.

3.2.3.4. Υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας τιμής του ρύπου.

Ο υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας τιμής του ρύπου, πραγματοποιείται μέσα από τον εντοπισμό της μέγιστης ωριαίας τιμής μέσα από τις 24 ώρες της ημέρας. Η ωριαία τιμή που θα έχει τη μεγαλύτερη τιμή αναγράφεται ως μέγιστη ημερήσια τιμή. Έλεγχος σημαντικής έλλειψης για τις ωριαίες τιμές, επαναλαμβάνεται και σε αυτό βήμα, με αποτέλεσμα την αναγραφή ή όχι του τελικού αποτελέσματος. Ειδικά για την περίπτωση του υπολογισμού της μέγιστης ημερήσιας τιμής του όζοντος, γίνεται έλεγχος επάρκειας για συγκεκριμένες ωριαίες τιμές της ημέρας, όπου έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη μέγιστη συγκέντρωση του ρύπου. Κατά αυτόν τον τρόπο θεωρούνται οι ελλείψεις των ωριαίων τιμών σημαντικές όταν υπερβαίνουν το 25% μεταξύ των ωρών 09:00 και 16:00. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο δεν αναγράφεται η μέγιστη ημερήσια τιμή του ρύπου, ανεξάρτητα από την έλλειψη ή την επάρκεια των υπολοίπων ωριαίων τιμών της ημέρας.

3.2.3.5 Υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής για τους ρύπους CO και O₃.

Ο υπολογισμός της μέγιστης ημερήσιας τιμής των ρύπων προέρχεται από τον υπολογισμό των 24 κυλιόμενων 8ωρων μέσων ημερήσιων τιμών και τον εντοπισμό της μέγιστης τιμής ανάμεσα τους. Η μέθοδος με την οποία υπολογίζονται οι 24 μέσες 8ωρες κυλιόμενες τιμές είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιεί και το Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας. Λαμβάνοντας τις τιμές από τις 18:00 της προηγούμενης ημέρας και φτάνοντας στις 01:00 της εξεταζόμενης ημέρας και υπολογίζοντας το μέσο όρο τους, έχει μόλις υπολογιστεί η πρώτη μέση 8ωρη κυλιόμενη τιμή. Συνεχίζοντας κατά τον ίδιο τρόπο (19:00-02:00 κ.ο.κ.) υπολογίζονται συνολικά 24 τιμές, που αντικατοπτρίζουν τις μέσες 8ωρες τιμές για την κάθε ημέρα. Γίνεται παράλληλα ο έλεγχος επάρκειας ωριαίων τιμών για κάθε 8ωρη μέση τιμή και σε περίπτωση που οι ελλείψεις υπερβαίνουν το 25% του συνόλου δεν αναγράφεται η 8ωρη κυλιόμενη τιμή. Η μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή, η οποία εντοπίζεται ανάμεσα στις 24 κυλιόμενες 8ωρες, αναγράφεται ως μέγιστη κυλιόμενη 8ωρη τιμή.

3.2.3.6 Συμπλήρωση των ημερήσιων τιμών των ρύπων.

Έχουν συνολικά δημιουργηθεί 79 αρχεία σταθμών όπου ανάλογα με το ρύπο περιέχονται μέσες, μέγιστες και 8ωρες μέγιστες ημερήσιες τιμές. Σε περίπτωση που παρατηρούνται ελλείψεις αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμπληρωθούν, έστω και προσεγγιστικά, πριν από το τελικό βήμα συγχώνευσης των σταθμών ανά ρύπο, για την περαιτέρω στατιστική τους επεξεργασία με τα υπόλοιπα δεδομένα. Με βάσει

πάντα το πρωτόκολλο του APHEA-2 η συμπλήρωση της ημερήσιας τιμής που λείπει γίνεται ως εξής :

- Υπολογισμός για την εκλειπόμενη μέρα, του μέσου όρου των τιμών των σταθμών, χαρακτηρίζοντας το αποτέλεσμα με $X_{i,k}$ (πράξη 1).
- Υπολογισμός της μέσης ετήσιας τιμής του ρύπου για τον συγκεκριμένο σταθμό j και έτος k (2001,2002) και χαρακτηρισμός της ως $X_{j,k}$ (πράξη 2).
- Υπολογισμός της ετήσιας μέσης τιμής του ρύπου όλων των σταθμών για το έτος k και ο χαρακτηρισμός της ως $X_{..k}$. Για τους δυο τελευταίους υπολογισμούς, αξίζει να επισημανθεί, ότι οι τιμές των αποτελεσμάτων θα αναφέρονται χωριστά ανά έτος, διότι στη συνέχεια οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν σε αντίστοιχες εξισώσεις συμπλήρωσης ημερήσιων τιμών και για τα 2 έτη (πράξη 3).
- Υπολογισμός της ημερήσιας τιμής του ρύπου (X_{ijk}) που λείπει μέσω της παρακάτω εξίσωσης : $X_{ijk} = X_{j,k} * (X_{j,k}/X_{..k})$, όπου $X_{j,k}$ είναι το αποτέλεσμα της πράξης 1 (δηλαδή το μέσο όρο ημερήσιων τιμών των υπολοίπων σταθμών της ίδιας ημέρας), $X_{j,k}$ είναι το αποτέλεσμα της πράξης 2 (δηλαδή η ετήσια μέση τιμή του ρύπου για το συγκεκριμένο σταθμό), $X_{..k}$ είναι το αποτέλεσμα της πράξης 3 (δηλαδή η ετήσια μέση τιμή όλων των σταθμών του ρύπου).

Τα τελικά αποτελέσματα της κάθε περίπτωσης μέσης, μέγιστης και μέγιστης 8ωρης τιμής συμπληρώνουν τις αντίστοιχες κενές ημερήσιες τιμές στα αρχεία των ρύπων. Έτσι έχουν δημιουργηθεί 79 πλήρη αρχεία με τιμές ρύπων για τις 608 ημέρες, τα οποία και θα χρησιμοποιηθούν για τον συσχετισμό τους με τα υπόλοιπα δεδομένα στη συνέχεια της μελέτης.

3.2.3.7 Συγχώνευση τιμών όλων των σταθμών ανά ρύπο.

Κατά τον υπολογισμό του μέσου όρου όλων των σταθμών για κάθε ρύπο, έχουν δημιουργηθεί 7 τελικά αρχεία ημερήσιων τιμών για τους αντίστοιχους 7 ρύπους, με 608 ημερήσιες τιμές μέσες, μέγιστες και μέγιστες 8ωρες (όπου απαιτείται).

3.2.3.8 Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές ρύπων.

Με βάση τις τελικές τιμές από την επεξεργασία όλων των ρύπων, διαμορφώνονται αντίστοιχα διαγράμματα τα οποία περιέχουν τις μέσες μηνιαίες τιμές τους. Αυτό γίνεται υπολογίζοντας τον μέσο όρο των ημερήσιων τιμών των ίδιων μηνών από τα δύο έτη (μέχρι και το μήνα Αύγουστο του έτους 2002 υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο μηνών ενώ οι τιμές των υπόλοιπων μηνών του έτους εισέρχονται όπως είναι).

3.3 Κλιματικές παράμετροι

3.3.1. Τύπος δεδομένων.

Τα κλιματικά δεδομένα ελήφθησαν σε μέγιστες και μέσες ημερήσιες τιμές. Οι παράμετροι, με τις οποίες η συγκεκριμένη έρευνα ασχολήθηκε βασιζόμενη στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και στις αρχές του Πρωτοκόλλου του APHEA-2, είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία (AVETEMP), η μέγιστη (MAXTEMP), η ελάχιστη (MINTEMP) όπως και το μέσο ποσοστό ημερήσιας σχετικής υγρασίας (HUM%). Οι τιμές των θερμοκρασιών αναφέρονται σε βαθμούς Κέλσιου (°C) και της υγρασίας σε ποσοστό αυτής επί τις εκατό (%) στην ατμόσφαιρα.

3.3.2 Πηγές δεδομένων.

Η πηγή των κλιματικών δεδομένων είναι το Εργαστήριο Κλιματολογίας, του Τομέα Μετεωρολογίας, του Γεωλογικού Τμήματος του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών που βρίσκεται στον Πανεπιστημιακό χώρο του Δήμου Ζωγράφου σε Γεωγραφικό μήκος : 37° 58' βόρεια και Γεωγραφικό πλάτος : 23° 47' ανατολικά.

3.3.3 Επεξεργασία κλιματικών παραμέτρων

Οι τιμές που λήφθηκαν από την παραπάνω πηγή, ήταν σε ολοκληρωμένη μορφή, με υπολογισμένες τις μέσες ημερήσιες τιμές για την περαιτέρω στατιστική τους επεξεργασία. Ημερήσιες τιμές κλιματικών παραμέτρων οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες τελικώς δεν αναγράφονται αφήνοντας κενή τη θέση της τιμής κατά την στατιστική επεξεργασία.

3.3.3.1 Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές κλιματικών παραμέτρων.

Με βάση τις τελικές τιμές από την επεξεργασία όλων των κλιματικών παραμέτρων, διαμορφώνονται αντίστοιχα διαγράμματα τα οποία περιέχουν τις μέσες μηνιαίες τιμές αυτών. Αυτό γίνεται υπολογίζοντας το μέσο όρο των ημερήσιων τιμών των ίδιων μηνών από τα δύο έτη (μέχρι και το μήνα Αύγουστο του έτους 2002 υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο μηνών ενώ οι τιμές των υπόλοιπων μηνών του έτους εισέρχονται όπως είναι).

3.4 Εισαγωγές σε νοσοκομεία

3.4.1. Τύπος δεδομένων.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν είναι σε ημερήσιες τιμές και αντιπροσωπεύουν το άθροισμα των εισαγωγών σε πέντε από τα κυριότερα νοσοκομεία της πόλης των Αθηνών. Οι εισαγωγές αυτές αναφέρονται σε ασθενείς που παρουσιάζουν συμπτώματα οξέως στεφανιαίου συνδρόμου χωρίς τη θανατηφόρα κατάληξη του, είτε αυτό προέρχεται από ασταθή στηθάγχη είτε από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Είναι διαχωρισμένες κατά φύλλο, περιλαμβάνοντας τρεις μορφές δεδομένων, με τα δυο φύλλα μαζί και χωριστά. Οι εισαγωγές τους γίνονται απευθείας στις εντατικές μονάδες των νοσοκομείων όπου γίνεται και η διάγνωση της νόσου, αλλά εξαιρούνται

από αυτές, όσες αποδείχτηκαν λανθασμένης διάγνωσης με αποτέλεσμα οι ασθενείς να λάβουν άμεσα εξιτήριο (Panagiotakos *et al.*, 2004).

3.4.2 Πηγές δεδομένων.

Τα δεδομένα των εισαγωγών προέρχονται από πέντε κύρια Δημόσια Νοσοκομεία της πόλης τα οποία περιλαμβάνουν εντατικές μονάδες για καρδιαγγειακές νόσους και βάσει πληροφοριών του Υπουργείου Υγείας, καταλαμβάνουν περίπου το 77% με 80% των συνολικών εισαγωγών της πόλης των Αθηνών. Ο πληθυσμός στην περιοχή μελέτης με βάση τα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΣΥΕ) για το 2001 ανέρχεται στα 3,500,000 περιλαμβάνοντας κατοίκους μόνο της Νομαρχίας Αθηνών και Πειραιά και όχι από άλλες περιοχές της Αττικής. Τα νοσοκομεία, στα αρχεία των οποίων βασίστηκε η έρευνα, είναι το Ιπποκράτειο, ο Ευαγγελισμός, το Τζάνειο, το Αλεξάνδρας και ο Ερυθρός Σταυρός.

Η παρακολούθηση και η διάγνωση της όποιας κλινικής κατάστασης, όπως και της εξέλιξης της, γίνεται από καρδιολόγο γιατρό. Η διάγνωση του οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου (Ο.Ε.Μ) βασίζεται στη συνύπαρξη τουλάχιστον δύο παραγόντων, από τους εξής: Μεταβολές στα ηλεκτρογραφήματα που υποβάλλονται οι ασθενείς, ξεκάθαρα κλινικά συμπτώματα εμφράγματος και ο εντοπισμός, μέσω αιματολογικών αναλύσεων, συγκεκριμένων επιπέδων συγκέντρωσης ενζύμων (Panagiotakos *et al.*, 2005). Η διάγνωση εισαγωγών με ασταθή στηθάγχη καθορίζεται από την εμφάνιση τουλάχιστον ενός επεισοδίου του ασθενή στο χρονικό διάστημα των τελευταίων 48 ωρών πριν από την εισαγωγή του, κάτι που ανταποκρίνεται στην τάξη 3 κατά Braunwald της κλίμακας ταξινόμησης για ασταθή στηθάγχη (Scirica *et al.*, 2002).

3.4.3 Επεξεργασία δεδομένων εισαγωγών στα νοσοκομεία.

Οι τιμές που λήφθηκαν από τις παραπάνω πηγές, ήταν σε ολοκληρωμένη μορφή, με υπολογισμένες τις μέσες ημερήσιες τιμές για την περαιτέρω στατιστική τους επεξεργασία. Περιλαμβάνοντας τρεις μορφές εισαγωγών, μια για κάθε φύλλο και μια και για τα δυο φύλλα μαζί (ολικές εισαγωγές), προετοιμάζονται ώστε να αποτελέσουν τις εξαρτημένες μεταβλητές των συσχετίσεων που θα ακολουθήσουν. Ημερήσιες τιμές εισαγωγών, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες, δεν αναγράφονται αφήνοντας κενή τη θέση της τιμής τους κατά την στατιστική επεξεργασία.

3.4.3.1 Δημιουργία διαγραμμάτων με μηνιαίες τιμές εισαγωγών.

Λαμβάνοντας τις ημερήσιες τιμές των εισαγωγών (και για τα 2 φύλλα μαζί) και υπολογίζοντας τον μέσο όρο για κάθε μήνα χωριστά (μέχρι και το μήνα Αύγουστο του έτους 2002 υπολογίζεται η μέση τιμή των δύο μηνών ενώ οι τιμές των υπόλοιπων μηνών του έτους εισέρχονται όπως είναι) διαμορφώνεται το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών των εισαγωγών.

3.5 Στατιστική επεξεργασία δεδομένων

3.5.1 Τύπος δεδομένων.

Η στατιστική επεξεργασία της τελικής μορφής των δεδομένων όλων των ομάδων κλιματικών, ρύπων και εισαγωγών, πραγματοποιείται μέσω γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (με παλινδρόμηση Poisson). Είναι μαθηματικές προεκτάσεις γραμμικών μοντέλων, ειδικευμένες για περιπτώσεις τιμών όπου οι μεταβλητές τους δεν έχουν γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Βασίζονται σε υποθετικές σχέσεις γραμμικής συσχέτισης των τιμών διερευνούμενων και επεξηγηματικών μεταβλητών (Guisan *et al.*, 2002).

Η χρήση αυτής της μεθόδου αποσκοπεί στο να μπορούμε να επιλέγουμε μέσα από μια σειρά ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών, το σύνολο που θα συνεισφέρει στατιστικά σημαντική πληροφορία, στην πρόβλεψη του ρυθμού εμφάνισης των γεγονότων (Jovanovic *et al.*, 1995).

Ένα μοντέλο που η έκβαση του ακολουθεί την κατανομή Poisson, ανήκει στα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα και είναι της μορφής :

$$g[E(Y)] = \beta_0 + \beta_1 \chi_{i1} + \beta_2 \chi_{i2} + \dots + \beta_{p-1} \chi_{i, p-1} + e_i.$$

Όμως η μέση τιμή της κατανομής Poisson, είναι ο ρυθμός λ , το εύρος τιμών του οποίου περιορίζεται μόνο σε θετικές τιμές. Επειδή, όμως, ο γραμμικός συνδυασμός (linear predictor) των ανεξάρτητων μεταβλητών έχει εύρος τιμών από το $-\infty$ έως το $+\infty$, πρέπει να μοντελοποιηθεί μια μετασχηματισμένη μορφή του λ . Η συνδετική συνάρτηση (link function) που χρησιμοποιείται είναι ο λογάριθμος του λ (log function). Συνεπώς, η αλγεβρική μορφή του μοντέλου θα μετατραπεί στην παρακάτω μορφή:

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 \chi_{i1} + \beta_2 \chi_{i2} + \dots + \beta_p \chi_{ip-1} + e_i,$$

όπου $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}$: είναι οι συντελεστές παλινδρόμησης που εκτιμώνται μέσω της μεγιστοποίησης της πιθανοφάνειας,
και όπου $\chi_{i1}, \chi_{i2}, \dots, \chi_{ip-1}$: οι τιμές των ανεξάρτητων επεξηγηματικών μεταβλητών για την i παρατήρηση (DeCoster, 2003).

3.5.2 Σκοπός - τρόπος επίτευξης.

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν ερευνηθεί κατά πόσο συγκεκριμένοι ατμοσφαιρικοί τύποι, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O_3), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} , $PM_{2.5}$) και το διοξείδιο του θείου (SO_2), συσχετίζονται με τον αριθμό των εισαγωγών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο σε νοσοκομεία της ευρύτερης περιφέρειας των Αθηνών και για μια χρονική διάρκεια 20 μηνών, αφού ληφθούν υπόψη και κλιματικοί παράγοντες.

Η στατιστική επεξεργασία διαχωρίζεται σε δυο φάσεις. Αρχικά πραγματοποιείται μια απλή παλινδρόμηση Poisson, έχοντας ως ανεξάρτητη επεξηγηματική μεταβλητή την

συγκέντρωση του ρύπου, με στόχο τον έλεγχο της συσχέτισης ανάμεσα στη μεταβλητή αυτή και τις έκτακτες εισαγωγές πολιτών στα νοσοκομεία εξαιτίας εμφάνισης οξέων συνδρόμων στεφανιαίας νόσου. Ο στατιστικός έλεγχος ο οποίος πραγματοποιείται στηρίζεται στην αύξηση κατά μια μονάδα της συγκέντρωσης ενός μοναδικού ρύπου από το αυτών που εξετάζονται στην έρευνα. Η αύξηση αυτή πρέπει να αναφέρεται είτε ως $1\text{mg}/\text{m}^3$ είτε ως $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ αναλόγως το ρύπο, με βάση αντίστοιχες έρευνες της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Για την περίπτωση του μονοξειδίου του άνθρακα, οι συγκεντρώσεις του στα τελικά αποτελέσματα έχουν ως μονάδες χιλιοστογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3), ενώ για όλους τους υπόλοιπους ρύπους, είναι μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ο πολλαπλασιασμός της τελικής τιμής των αποτελεσμάτων, με τον συντελεστή 10, πραγματοποιείται με στόχο τη δυνατότητα σύγκρισης τους με την πλειοψηφία των αντίστοιχων ερευνών. Υπάρχουν παραδείγματα ρύπων όπου εξαιτίας των μεγάλων ωριαίων ή ημερήσιων διακυμάνσεων τους προτείνεται να πολλαπλασιάζονται με ακόμη μεγαλύτερους συντελεστές, με στόχο την σαφέστερη κατανόηση των επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία.

Στο επόμενο στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας πραγματοποιείται μια Poisson παλινδρόμηση ενός υποδείγματος με περισσότερες μεταβλητές στο οποίο, εκτός από την αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου, λαμβάνουν μέρος και κλιματικές παράμετροι ως πιθανοί συγχετικοί παράγοντες, με στόχο τον εντοπισμό της επίδρασης τους στην παραπάνω συσχέτιση. Ο στατιστικός έλεγχος ο οποίος πραγματοποιείται στηρίζεται στην αύξηση κατά μια μονάδα της συγκέντρωσης ενός διαφορετικού ρύπου κάθε φορά όπως και της παρεμβολής της τιμής μιας ημερήσιας θερμοκρασίας ελάχιστης, μέσης ή μέγιστης και του ποσοστού της υγρασίας στο υπόδειγμα. Το αποτέλεσμα της συσχέτισης των ρύπων με τις εισαγωγές από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο πρόκειται να διαφοροποιηθεί θετικά, αρνητικά ή να παραμείνει αμετάβλητο, αναλόγως με την επίδραση του εκάστοτε κλιματικού παράγοντα. Όλα τα τελικά αποτελέσματα είναι λογαριθμικά και ακολουθούν ακριβώς την ίδια μεθοδολογία που προαναφέρθηκε.

Οι μεταβλητές των πιθανών συγχετικών παραγόντων μέσα στο υπόδειγμα παλινδρόμησης διαχωρίζονται σε μέση, ελάχιστη και μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, λαμβάνοντας μέρος κατά αυτόν τον τρόπο ξεχωριστά η κάθε μια στη στατιστική ανάλυση, μαζί με την παρουσία της μέσης σχετικής υγρασίας και στις τρεις περιπτώσεις. Η εξαρτημένη κατηγορική μεταβλητή των εισαγωγών, μέσα στο στατιστικό υπόδειγμα, διαχωρίζεται σε τρεις μεταβλητές με βάση το φύλο των ασθενών που εισάγονται στο νοσοκομείο. Κατά αυτό τον τρόπο εμφανίζονται στα τελικά αποτελέσματα οι επιδράσεις των παραπάνω παραγόντων σε κάθε φύλο χωριστά, όπως και στα δυο φύλα μαζί. Η προσθήκη του συγχετικού παράγοντα στο υπόδειγμα θεωρείται σημαντική όταν η παρατήρηση των εισαγωγών β_1 (μόνο με το ρύπο στο υπόδειγμα) προστιθέμενη ή αφαιρούμενη με το τυπικό σφάλμα της παλινδρόμησης δεν επικαλύπτεται με την αντίστοιχη εκτίμηση β_2 (που περιλαμβάνει και το συγχετικό παράγοντα στο υπόδειγμα) :

Αποτέλεσμα A: $\beta_1 \pm 2$ (τυπικό σφάλμα),
Αποτέλεσμα B: $\beta_2 \pm 2$ (τυπικό σφάλμα).
(πρέπει $A > B$, σε κάθε περίπτωση).

3.5.3 Βήματα στατιστικής επεξεργασίας.

3.5.3.1 Επιλογή κατάλληλου στατιστικού προγράμματος.

Το στατιστικό πρόγραμμα, το οποίο χρησιμοποιείται για την υπολογιστική υποστήριξη της επεξεργασίας του παραπάνω υλικού, είναι το SPSS 13,0 (data document). Από το συγκεκριμένο στατιστικό πρόγραμμα επιλέγεται και η κατάλληλη στατιστική ανάλυση με την οποία θα επεξεργαστούν τα δεδομένα.

3.5.3.2 Επιλογή συγκεκριμένης στατιστικής μεθόδου.

Η μέθοδος η οποία επιλέγεται για την επεξεργασία των δεδομένων είναι τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα μέσω παλινδρόμησης τύπου Poisson :

Τύπος δεδομένων (data) : Weight Cases
Είδος ανάλυσης : Log linear and General

3.5.3.3 Καταχώρηση κατηγορικών εξαρτημένων παραμέτρων (factors).

Οι τρεις κατηγορικές εξαρτημένες μεταβλητές των εισαγωγών των ανδρών, των γυναικών και των δύο φύλων μαζί, εισάγονται χωριστά μέσα στο πρόγραμμα, ώστε να συσχετισθούν οι τρεις αυτές κατηγορίες με όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους:

Κατηγορικές (factor): Άνδρες (males), γυναίκες (females), και οι δύο μαζί (all cases).

3.5.3.4 Καταχώρηση ανεξάρτητων ερμηνευτικές μεταβλητές (cell covariates).

Οι ανεξάρτητες ερμηνευτικές μεταβλητές της έρευνας (ατμοσφαιρικοί ρύποι), όπως εισέρχονται μέσα στο πρόγραμμα είναι μεμονωμένες, ώστε να συσχετισθεί ο κάθε ρύπος χωριστά με τις εισαγωγές των ασθενών σε νοσοκομεία από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο :

Cell Covariates: CO/ O₃/ PM₁₀/ PM_{2.5}/ NO/ NO₂/ SO₂

Οι πιθανοί συγχρητικοί παράγοντες της έρευνας (κλιματικές παράμετροι), όπως εισέρχονται μέσα στο πρόγραμμα είναι μεμονωμένες, ώστε να λαμβάνεται χωριστά η επίδραση τους στη συσχέτιση του ρύπου με τις εισαγωγές των ασθενών :

Cell Covariates: Ρύπος, υγρασία, μέση θερμοκρασία (meantemp) / μέγιστη θερμοκρασία (maxtemp) / ελάχιστη θερμοκρασία (mintemp).

3.5.3.5 Καταχώρηση λοιπών επιλογών στην ανάλυση.

Στο τελικό στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας γίνεται η τελική επιλογή των μεταβλητών που το υπόδειγμα θα επεξεργαστεί, όπως και η επιλογή της μορφής των

αποτελεσμάτων του στατιστικού προγράμματος (εμφάνιση συχνοτήτων, καταλοίπων, εκτιμήσεων, προσαρμοσμένων καταλοίπων):

Μοντέλο, όροι	:	Ρύποι / Κλιματικές παράμετροι.
Επιλογή αποτελεσμάτων	:	Συχνότητες, υπολείμματα, εκτιμήσεις, προσαρμοσμένα υπολείμματα.

Προσαρμογή κανονικής κατανομής.

3.5.3.6 Εμφάνιση αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα διαχωρίζονται σε τρεις φάσεις, όσες είναι και οι κατηγορικές εξαρτημένες μεταβλητές τους και καταχωρούνται σε έναν αντίστοιχο αριθμό πινάκων. Ο πρώτος πίνακας αναφέρεται στα αποτελέσματα εισαγωγών και για τα δύο φύλλα, ο δεύτερος αναφέρεται στα αποτελέσματα των εισαγωγών των ανδρών και ο τρίτος αναφέρεται στα αποτελέσματα των εισαγωγών των γυναικών. Ο κάθε πίνακας περιέχει αποτελέσματα από τις συσχετίσεις του κάθε ρύπου με τις εισαγωγές χωριστά, όπως και του κάθε ρύπου με τη σχετική υγρασία και με μια από τις τρεις θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε λογαριθμική μορφή όπως ακριβώς εξάγονται από τη στατιστική ανάλυση, πολλαπλασιασμένα όπου απαιτείται (βλέπε κεφ. 6.5.2), με τον κατάλληλο συντελεστή, ώστε να είναι συγκρίσιμα με τις μελέτες της υπόλοιπης βιβλιογραφίας, αλλά και για να καταστούν εμφανέστερα τα αποτελέσματα :

Εκτίμηση (β), (+ -) στατιστικό σφάλμα, πιθανότητα σφάλματος

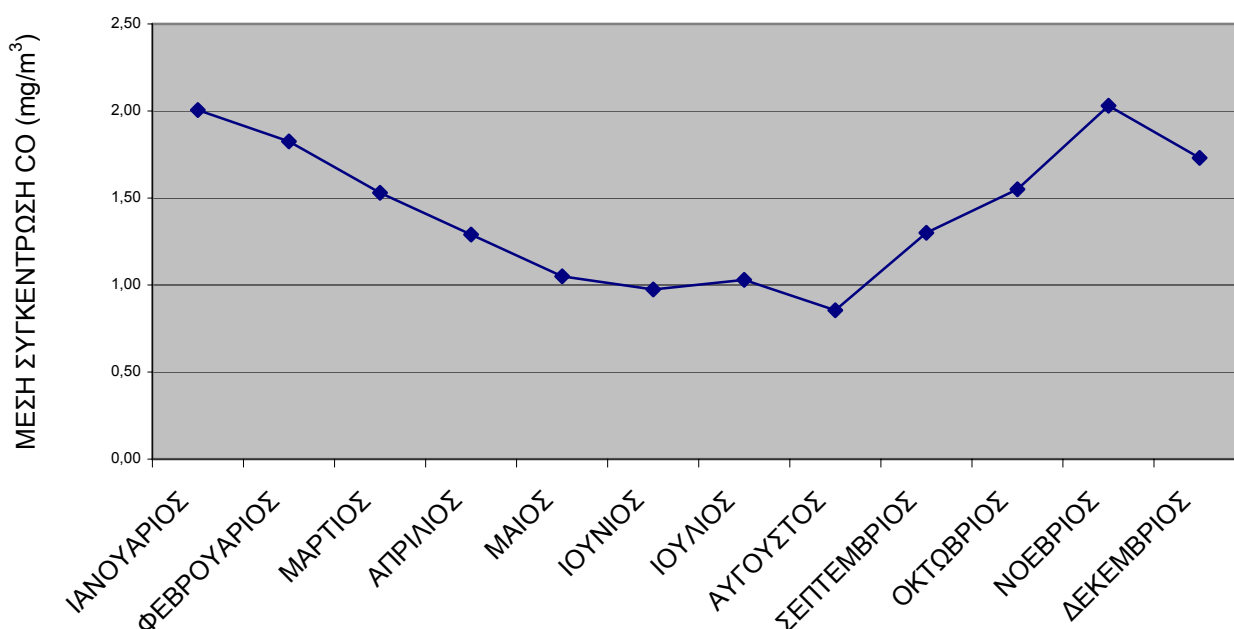
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

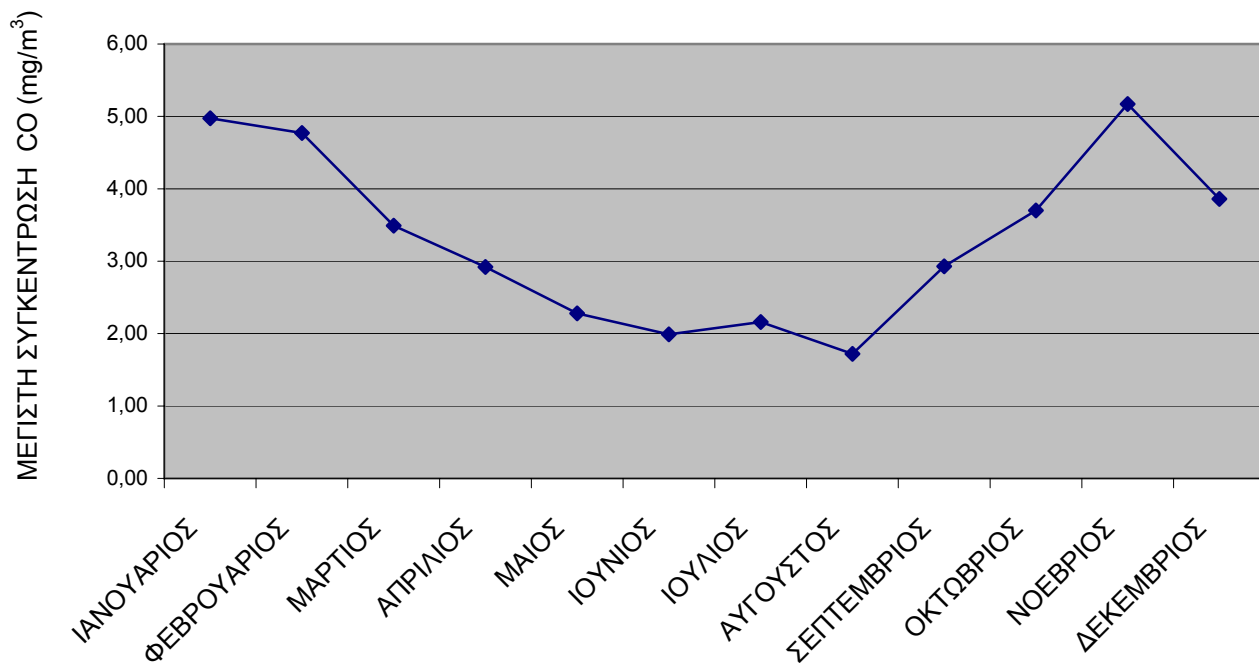
4.1 Διαγράμματα μέσων μηνιαίων τιμών ρύπων, κλιματικών παραμέτρων.

4.1.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

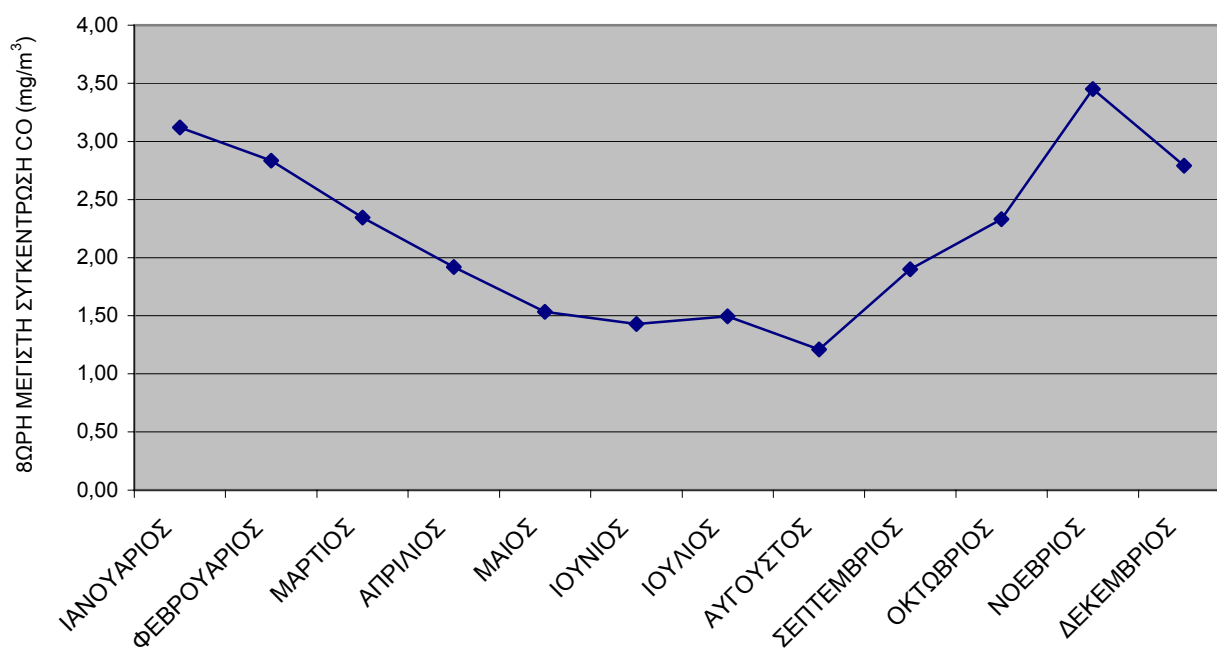
Στα διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3 απεικονίζονται οι μέσοι μηνιαίοι όροι των συγκεντρώσεων (mg/m^3) του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) για τη χρονική περίοδο της εργασίας, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες, μέγιστες και μέγιστες δωρες κυλιόμενες ημερήσιες τιμές τους αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.1 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



Διάγραμμα 4.2 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



Διάγραμμα 4.3 : Μηνιαίοι μέσοι όροι 8ωρης μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)

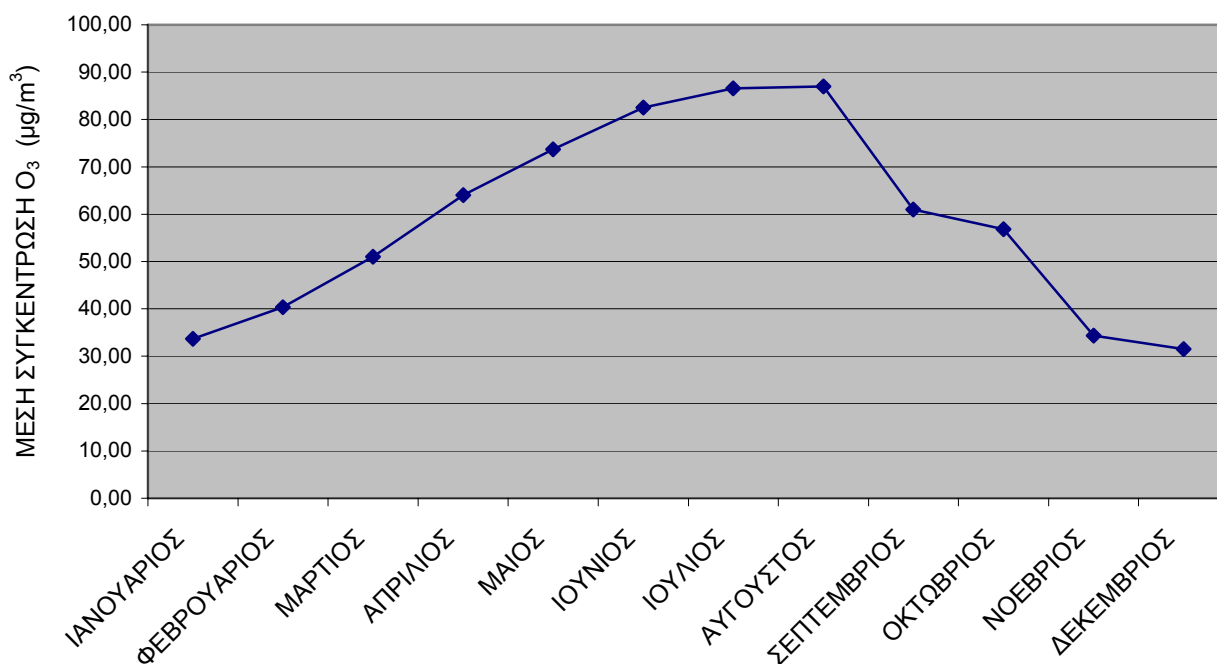
4.1.1.1 Σχολιασμός

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3, των μέσων, μέγιστων και μέγιστων κυλιόμενων δωρων αντίστοιχα συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διαπιστώνεται ότι και στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει μια ομοιόμορφη μείωση της τιμής του ρύπου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η αποκορύφωση της φθίνουσας πορείας της καμπύλης συμβαίνει το μήνα Αύγουστο, όταν η μέση συγκέντρωση του ρύπου φτάνει στα $0,86 \text{ mg/m}^3$, η μέγιστη στα $1,72 \text{ mg/m}^3$ και η μέγιστη κυλιόμενη δωρη στα $1,21 \text{ mg/m}^3$, οι οποίες είναι οι κατώτερες μέσες μηνιαίες τιμές σε ολόκληρο το έτος. Εμφανής επίσης είναι η πτώση των συγκεντρώσεων του ρύπου και για τους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες. Το γεγονός αυτό εξηγείται εάν λάβουμε υπόψη ότι σε έντονα αστικοποιημένες περιοχές, όπως αυτή της Αθήνας, η βασικότερη πηγή μονοξειδίου του άνθρακα (CO) είναι η οδική κυκλοφορία (φτάνοντας κατά περιόδους και πάνω από το 70%). Τη θερινή περίοδο και ιδιαίτερα το μήνα Αύγουστο μειώνεται σημαντικά η κυκλοφορία των οχημάτων και κατά συνέπεια και οι εκπομπές τους. Παράλληλα, οι συνθήκες καύσης κατά τη θερινή περίοδο, με τις υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος που επικρατούν, είναι ιδανικές για την αποφυγή της εμφάνισης προϊόντων ατελούς καύσης, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, από μηχανές εσωτερικής καύσεως.

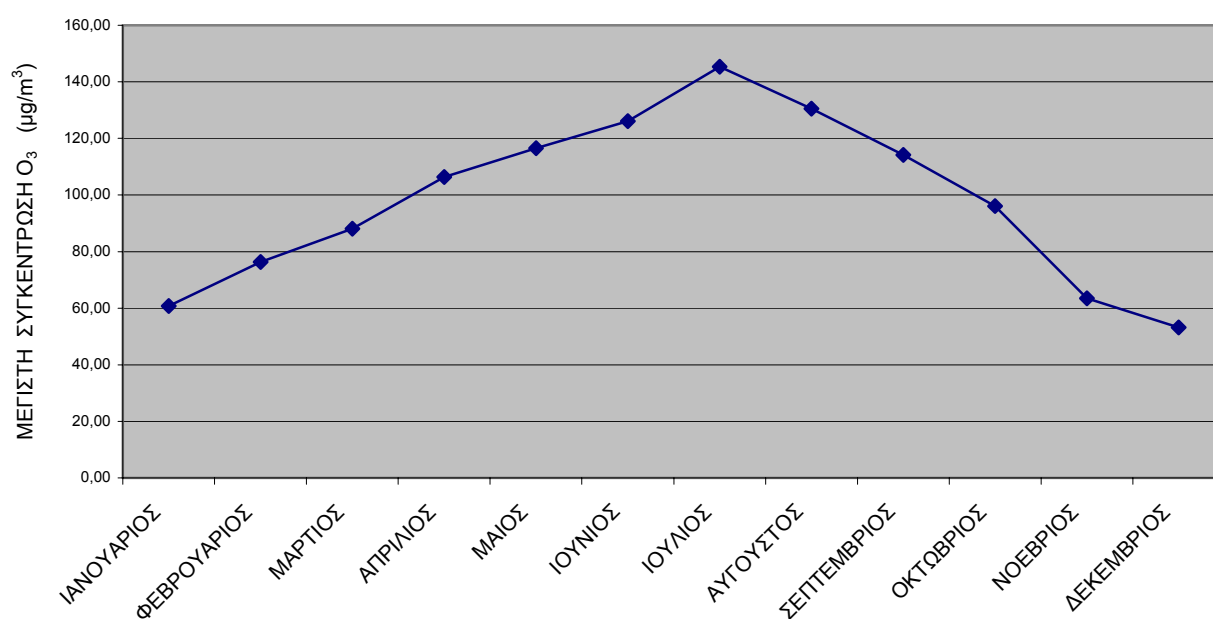
Στη συνέχεια παρατηρείται μια ανοδική κλίση της καμπύλης και για τα τρία διαγράμματα, των μηνιαίων συγκεντρώσεων του ρύπου, με κορύφωση της το μήνα Νοέμβριο. Το Νοέμβριο, η μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου είναι στα $2,03 \text{ mg/m}^3$, η μέγιστη στα $5,17 \text{ mg/m}^3$ και η μέγιστη κυλιόμενη δωρη στα $3,45 \text{ mg/m}^3$. Υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων του ρύπου συνεχίζονται και κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ την εποχή της άνοιξης παρατηρείται μια σαφέστατη πτώση της καμπύλης. Η ανοδική κλίση της καμπύλης, κατά την περίοδο του φθινοπώρου, εξηγείται από τη μαζική προσέλευση των κατοίκων στη πόλη τους μετά τις καλοκαιρινές διακοπές, με τα έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα που την συνοδεύουν. Στα τέλη του φθινοπώρου, το μήνα Νοέμβριο, η πτώση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος γίνεται αισθητή με αποτέλεσμα να αρχίζει η κατανάλωση ενέργειας και κατά κύριο λόγο πετρελαίου θέρμανσης από τους πολίτες, για τη θέρμανση τους, με συνέπεια οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα να αθροίζονται με αυτές της οδικής κυκλοφορίας. Παράλληλα, οι άνεμοι σχετικά χαμηλής εντάσεως που επικρατούν την περίοδο αυτή, όχι μόνο δεν διευκολύνουν το διασκορπισμό των πρωτογενών ρύπων αλλά αντιθέτως ενισχύουν την συσσώρευση τους στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.

4.1.2 Όζον (O₃).

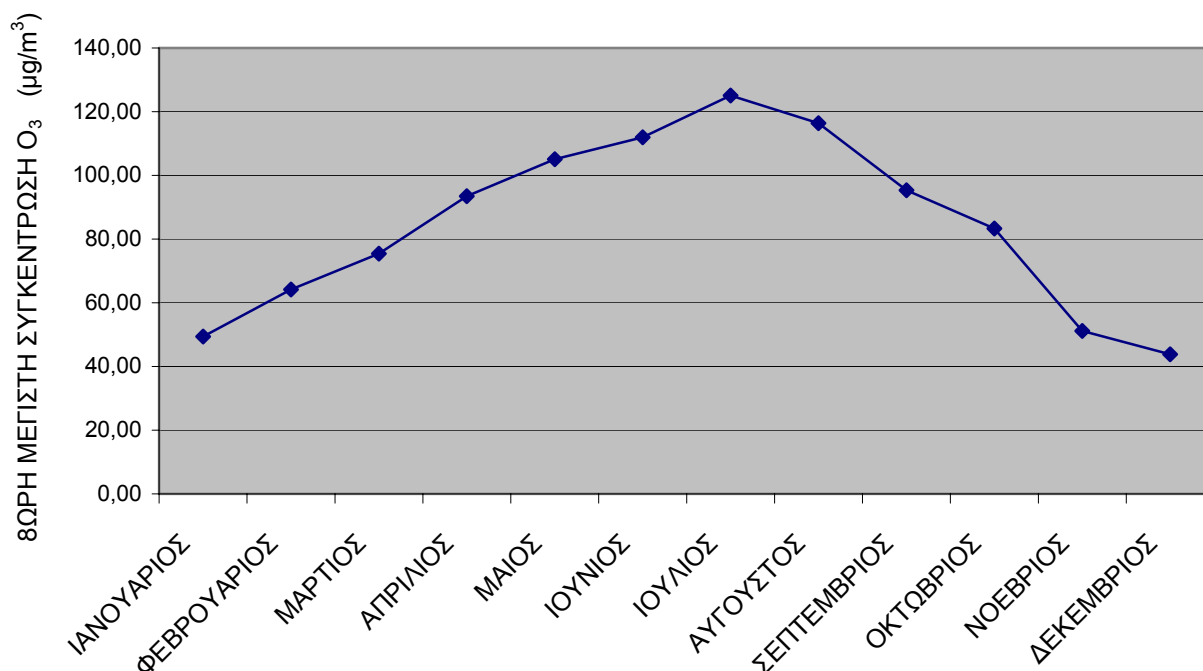
Στα διαγράμματα 4.4, 4.5 και 4.6 απεικονίζονται οι μηνιαίοι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων ($\mu\text{g/m}^3$) του όζοντος (O₃) για τη χρονική περίοδο της μελέτης, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες, μέγιστες και μέγιστες δωρες κυλιόμενες ημερήσιες τιμές τους αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.4: Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης όζοντος (Πηγή: Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002)



Διάγραμμα 4.5 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης όζοντος (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002)



Διάγραμμα 4.6 : Μηνιαίοι μέσοι όροι δωρης μέγιστης συγκέντρωσης όζοντος (Πηγή: Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)

4.1.2.1 Σχολιασμός

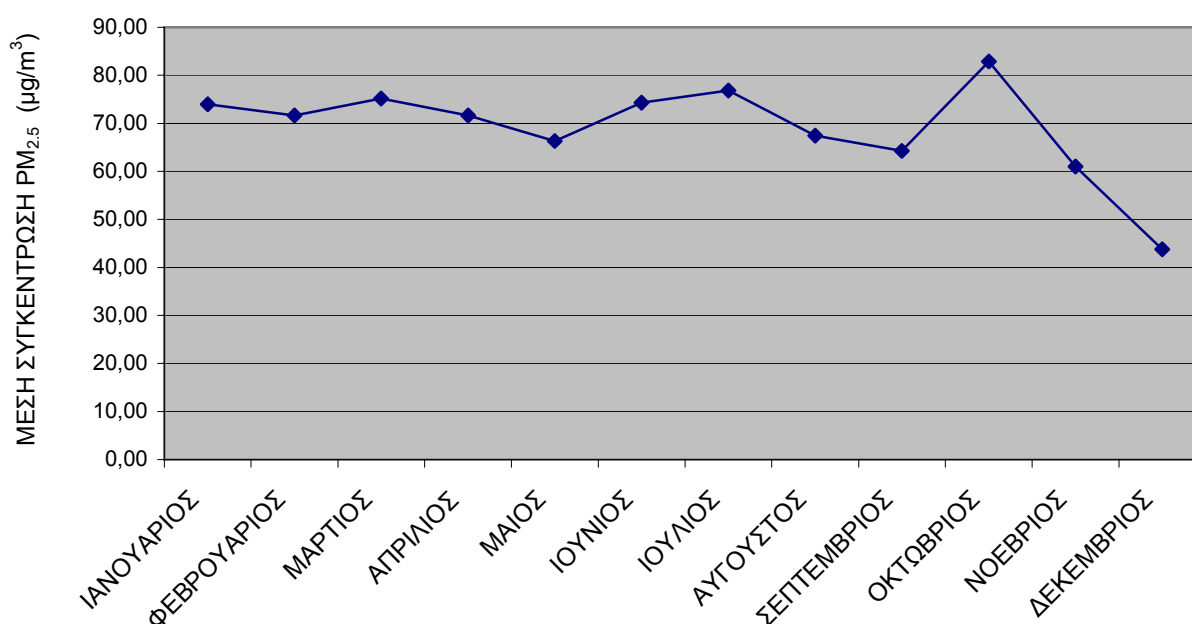
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.4, 4.5 και 4.6, των μέσων, μέγιστων και μέγιστων κυλιόμενων δωρων μηνιαίων συγκεντρώσεων του όζοντος (O_3), διαπιστώνουμε τα εκ διαμέτρου αντίθετα αποτελέσματα με αυτά του μονοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, στους καλοκαιρινούς μήνες, με αποκορύφωση τον μήνα Ιούλιο και Αύγουστο, παρατηρείται και στις τρεις μηνιαίες συγκεντρώσεις του ρύπου σημαντική αύξηση της τιμής τους, ενώ στους χειμερινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο, έχουμε μια εμφανή μείωση των τιμών τους. Η μηνιαία μέση τιμή της συγκέντρωσης του όζοντος το μήνα Αύγουστο φτάνει στα ανώτατα επίπεδα των $86,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ η μέγιστη και η δωρη μέγιστη τιμή για τον μήνα Ιούλιο φτάνει στα $145,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στα $125,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό εξηγείται εάν λάβουμε υπόψη ότι το όζον αποτελεί ένα δευτερογενή ρύπο στην τροπόσφαιρα με την παρουσία της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία κατά τη καλοκαιρινή περίοδο στη πόλη της Αθήνας βρίσκεται σε αφθονία, να αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα στον σχηματισμό του. Συγχρόνως, την περίοδο αυτή, παρατηρείται (βλέπε διάγραμμα 4.11, 4.12) μια σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου (NO), με το οποίο έχει το όζον (O_3) την τάση να αντιδρά και να μετασχηματίζεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO_2), με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα.

Απότομη μεταβολή με φθίνουσα κλίση παρατηρείται στην καμπύλη των τιμών του ρύπου, μετά το πέρας του καλοκαιριού, την εποχή του Φθινοπώρου. Η ηλιοφάνεια στο λεκανοπέδιο της Αθήνας αρχίζει να περιορίζεται σημαντικά ενώ σημαντικές συγκεντρώσεις πρωτογενών ρύπων εμφανίζονται, εξαιτίας των πολλαπλών πηγών

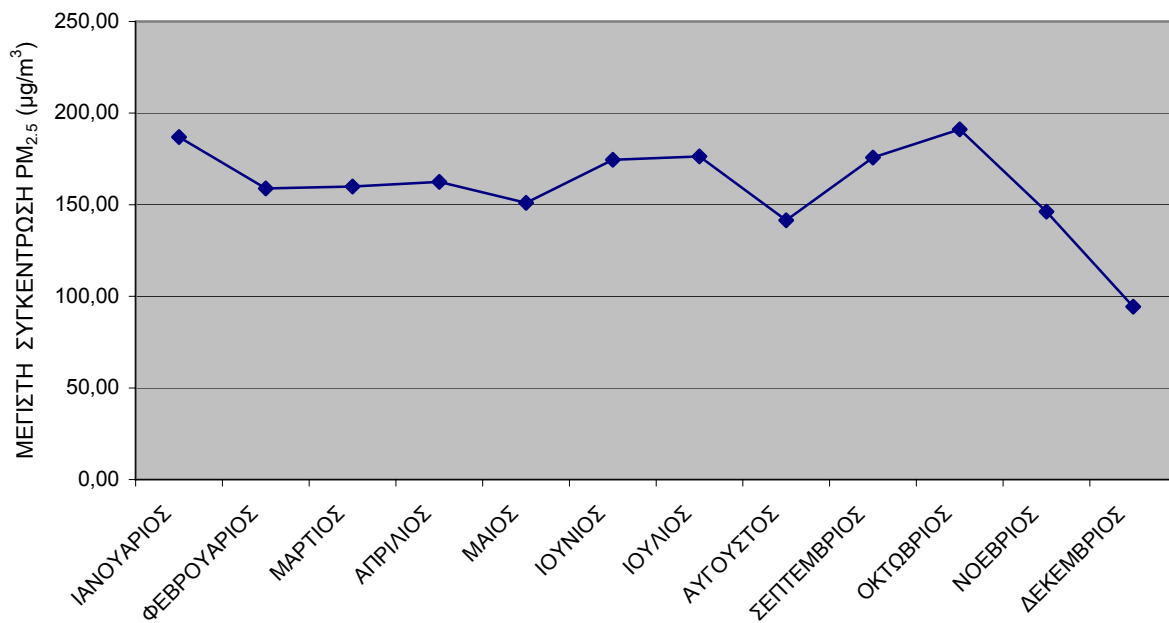
τους αυτή την περίοδο στην πόλη, με το μονοξείδιο του αζώτου να κυριαρχεί. Η πτωτική πορεία της καμπύλης κορυφώνεται το μήνα Δεκέμβριο, όπου φτάνει η μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου στα $31,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η μέγιστη και η 8ωρη μέγιστη, αντίστοιχα στα $53,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $43,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Κατά τους ανοιξιάτικους μήνες παρατηρείται μια ήπια αύξηση στις τιμές των συγκεντρώσεων του όζοντος.

4.1.3 Αιωρούμενα σωματίδια ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}).

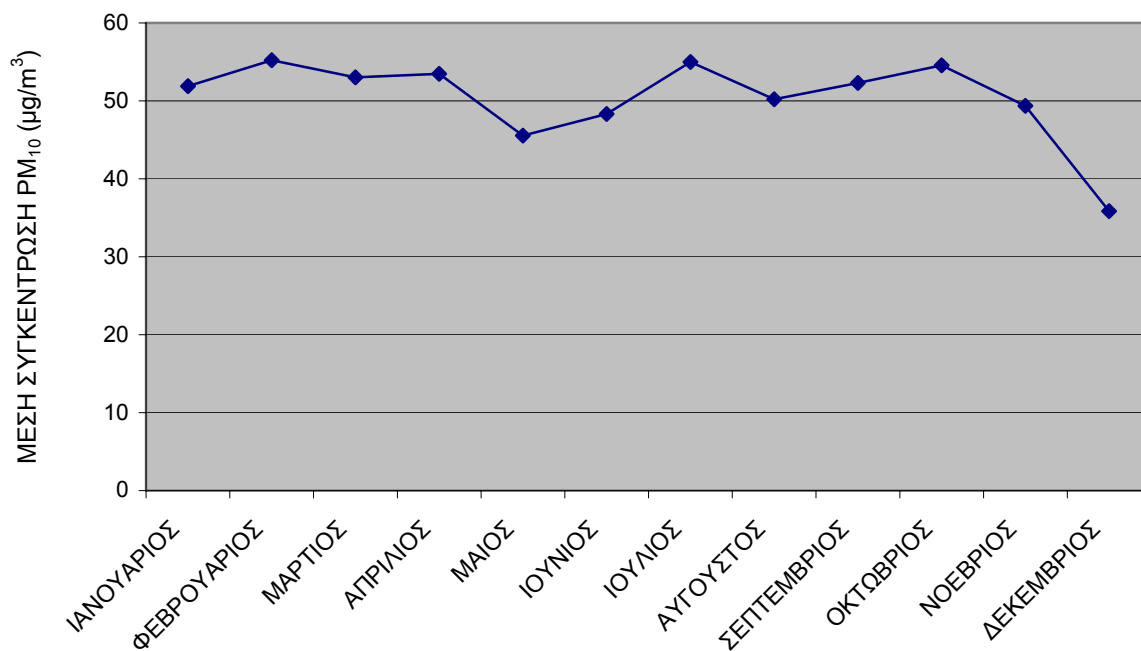
Στα διαγράμματα 4.7, 4.8, 4.9 και 4.10 απεικονίζονται οι μέσοι μηνιαίοι όροι συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) για τη χρονική περίοδο της μελέτης, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες, και μέγιστες τιμές τους αντίστοιχα.



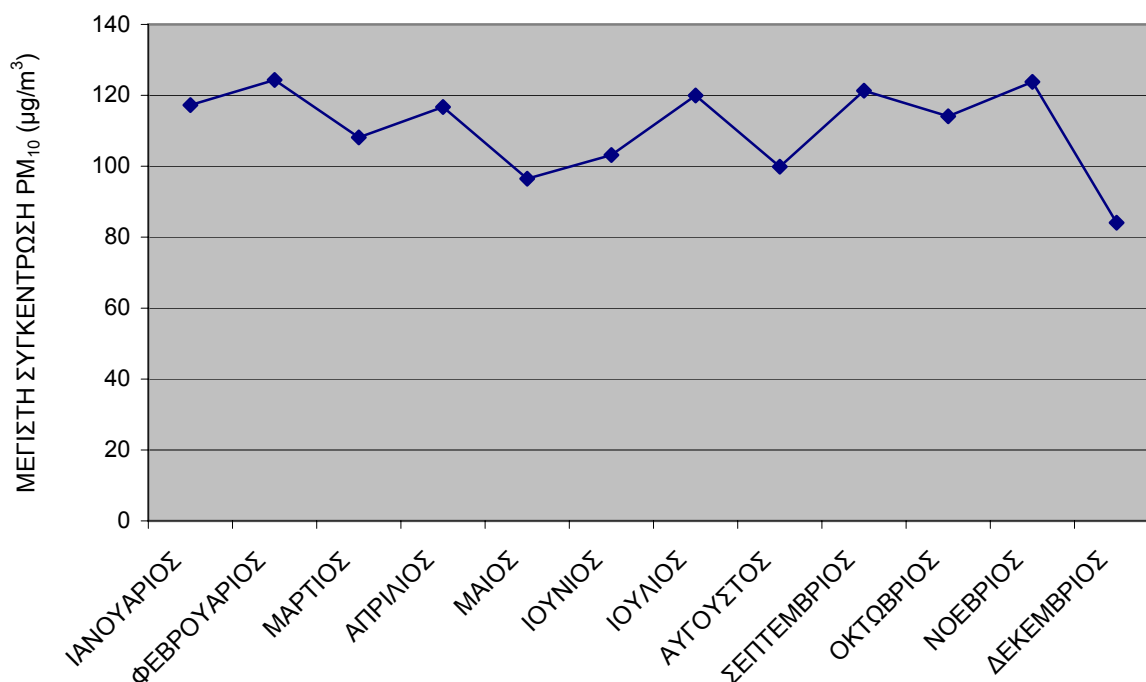
Διάγραμμα 4.7: Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$), (Πηγή: Δ.Ε.Α.Π.Θ, 2002)



Διάγραμμα 4.8 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5}), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



Διάγραμμα 4.9 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



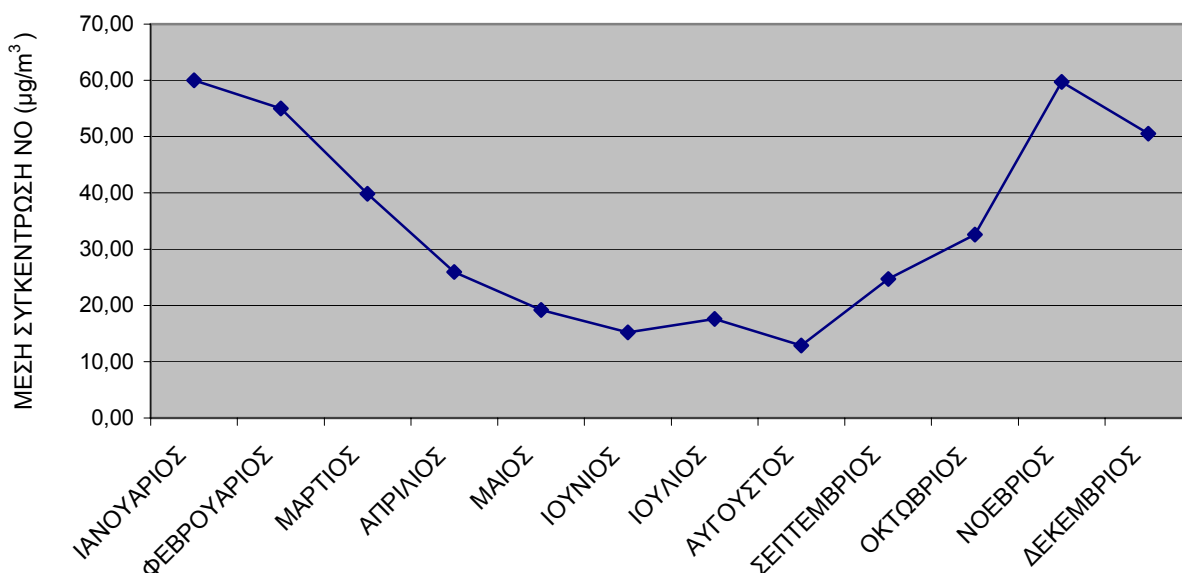
Διάγραμμα 4.10 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)

4.1.3.1 Σχολιασμός.

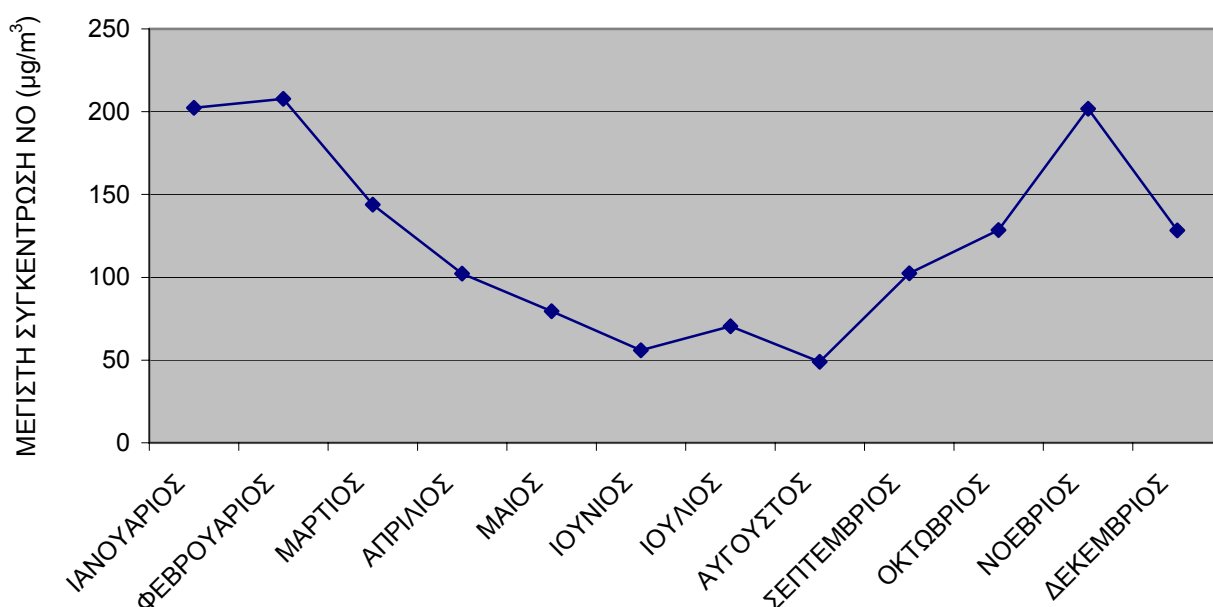
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.7, 4.8, 4.9 και 4.10, των μέσων και μέγιστων μηνιαίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5} και PM₁₀ αντίστοιχα), διαπιστώνονται σχετικά μικρές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, για τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}), τις υψηλότερες τιμές τους τις συναντάμε το μήνα Οκτώβριο, όπου η μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου φτάνει στα 82,89 µg/m³ και η μέγιστη στα 191,08 µg/m³. Για τα μεγαλύτερα (PM₁₀), τις υψηλότερες τιμές τους τις συναντάμε το μήνα Φεβρουάριο, όπου η μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου φτάνει στα 55,22 µg/m³ και η μέγιστη στα 124,34 µg/m³. Στη συνέχεια, κατά τη χειμερινή περίοδο οι τιμές επανέρχονται στα ίδια επίπεδα με τους υπόλοιπους μήνες και για τους δύο ρύπους, παρατηρώντας ελαφρές αυξητικές τάσεις στην καρδιά της χειμερινής και θερινής περιόδου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός της αυξημένης ζήτησης σε πετρέλαιο θέρμανσης, εξαιτίας χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος (βλέπε διάγραμμα 18), το οποίο είναι το βασικό καύσιμο για τις εστίες κεντρικής θέρμανσης της πόλης όπως και παράλληλα μια σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Παράλληλα, την περίοδο του χειμώνα, εμφανίζονται υψηλά ποσοστά υγρασίας (βλέπε διάγραμμα 20), γεγονός που βοηθάει στον περαιτέρω σχηματισμό σωματιδίων, μέσω προσρόφησης τους, στα υγρά μικροσκοπικά σωματίδια των αερίων χημικών ενώσεων και στοιχείων. Οι ελαφρώς αυξητικές τάσεις οι οποίες παρουσιάζονται την καλοκαιρινή περίοδο, οφείλονται στην έντονη ηλιακή ακτινοβολία που παρουσιάζει το λεκανοπέδιο της Αττικής με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση φωτοχημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα αλλά και της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων που συμμετέχουν σε αυτές, ως προσροφητές των δευτερογενών αερίων ρύπων.

4.1.2 Μονοξείδιο του αζώτου (NO).

Στα διαγράμματα 4.11 και 4.12 απεικονίζονται οι μηνιαίοι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) του μονοξειδίου του αζώτου (NO) για τη χρονική περίοδο της μελέτης, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες και μέγιστες ημερήσιες τιμές του αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.11 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου (NO), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



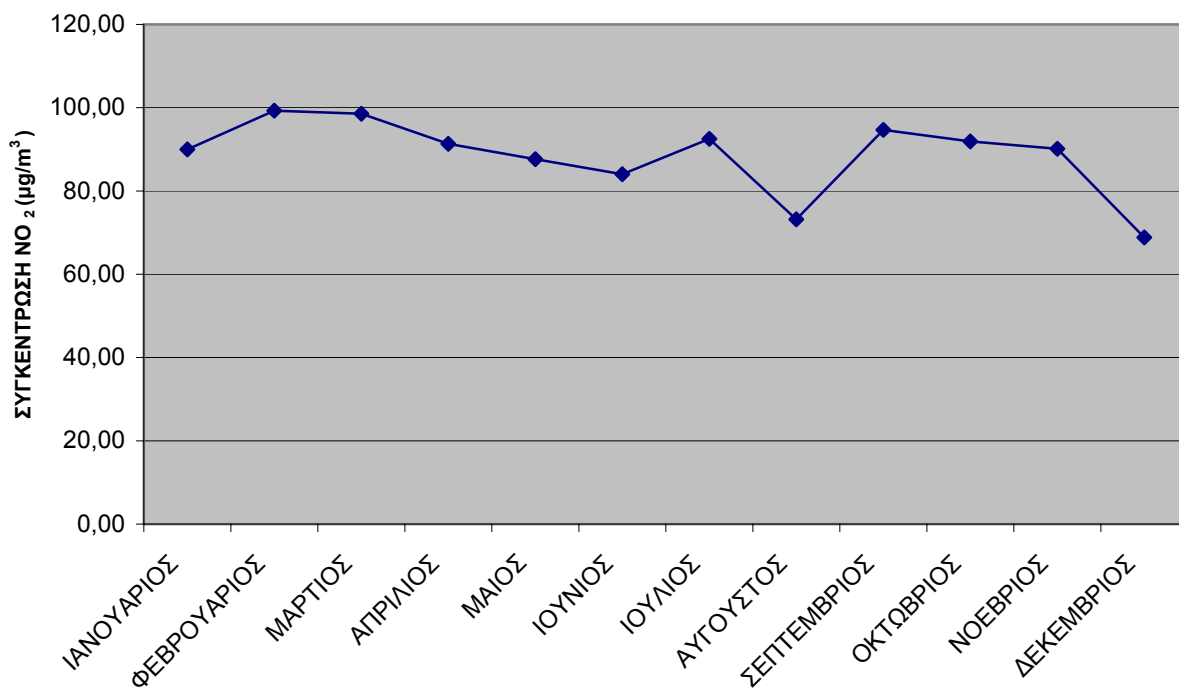
Διάγραμμα 4.12 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης μονοξειδίου του αζώτου (NO), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002).

4.1.4.1 Σχολιασμός.

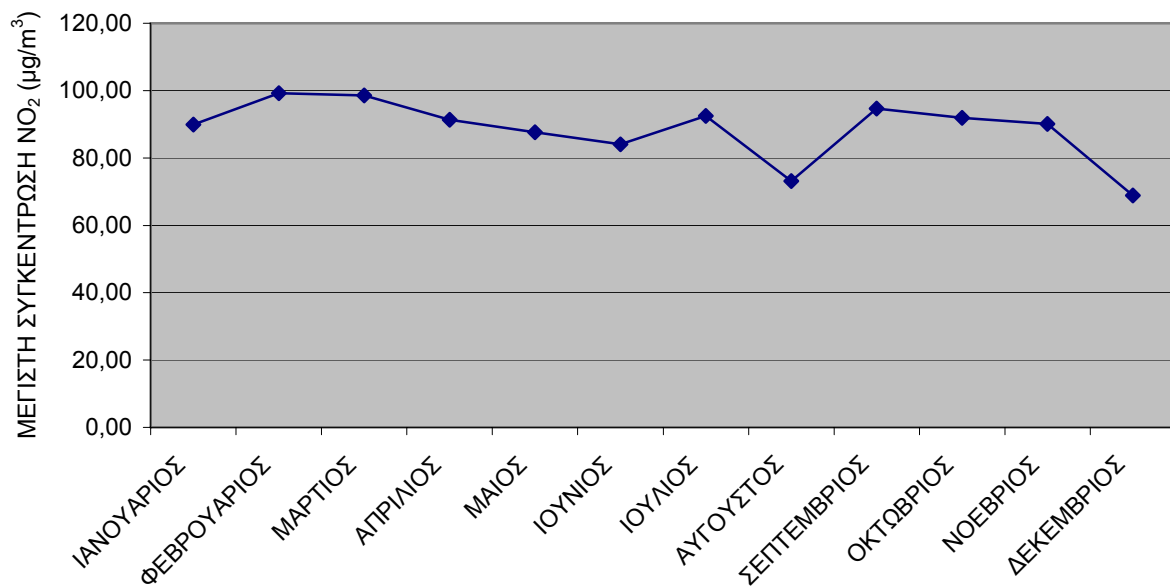
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.11 και 4.12, των μέσων και μέγιστων μηνιαίων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου (NO), διαπιστώνουμε ότι έχουμε μια απότομη πτώση κατά στους καλοκαιρινούς μήνες και μια αντίστοιχη άνοδο τους χειμερινούς. Συγκεκριμένα, το μήνα Αύγουστο, παρατηρούνται οι κατώτερες μέσες και μέγιστες μηνιαίες τιμές οι οποίες φτάνουν αντίστοιχα στα 12,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 49,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Χαμηλά επίπεδα συγκεντρώσεων επίσης παρατηρούμε και στους υπόλοιπους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ στους φθινοπωρινούς μήνες παρατηρείται μια απότομη κλίση ανόδου των τιμών της καμπύλης. Στη συνέχεια, το μήνα Ιανουάριο, η μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα τιμών, στα 60,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το μήνα Φεβρουάριο, η μέγιστη μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου φτάνει στα υψηλότερα επίπεδα τιμών, στα 207,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η πορεία αυτή της καμπύλης ερμηνεύεται από το γεγονός ότι η παρουσία του στην ατμόσφαιρα ευνοείται από την αύξηση των εστιών καύσης, όπως και της θερμοκρασίας αυτής, κάτι που συμβαίνει ιδιαίτερα στα τέλη του φθινοπώρου στην Αθήνα, με τον συνδυασμό πυκνής οδικής κυκλοφορίας και έναρξη λειτουργίας κεντρικών μονάδων θέρμανσης. Παράλληλα, εξαιτίας της περιορισμένης ηλιοφάνειας στην Αθήνα αυτή την περίοδο, το μονοξείδιο του αζώτου παραμένει σε υψηλές συγκεντρώσεις και δεν εμπλέκεται σε φωτοχημικές αντιδράσεις σχηματισμού δευτερογενών ρύπων. Μετά τους χειμερινούς μήνες, την εποχή της άνοιξης, παρατηρούμε μια σαφέστατη πτώση της καμπύλης των τιμών του ρύπου.

4.1.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

Στα διαγράμματα 4.13 και 4.14 που ακολουθούν απεικονίζονται οι μέσοι μηνιαίοι όροι των συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) του διοξειδίου του αζώτου (NO₂) για τη χρονική περίοδο της μελέτης, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες και μέγιστες ημερήσιες τιμές του αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.13 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO₂), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)



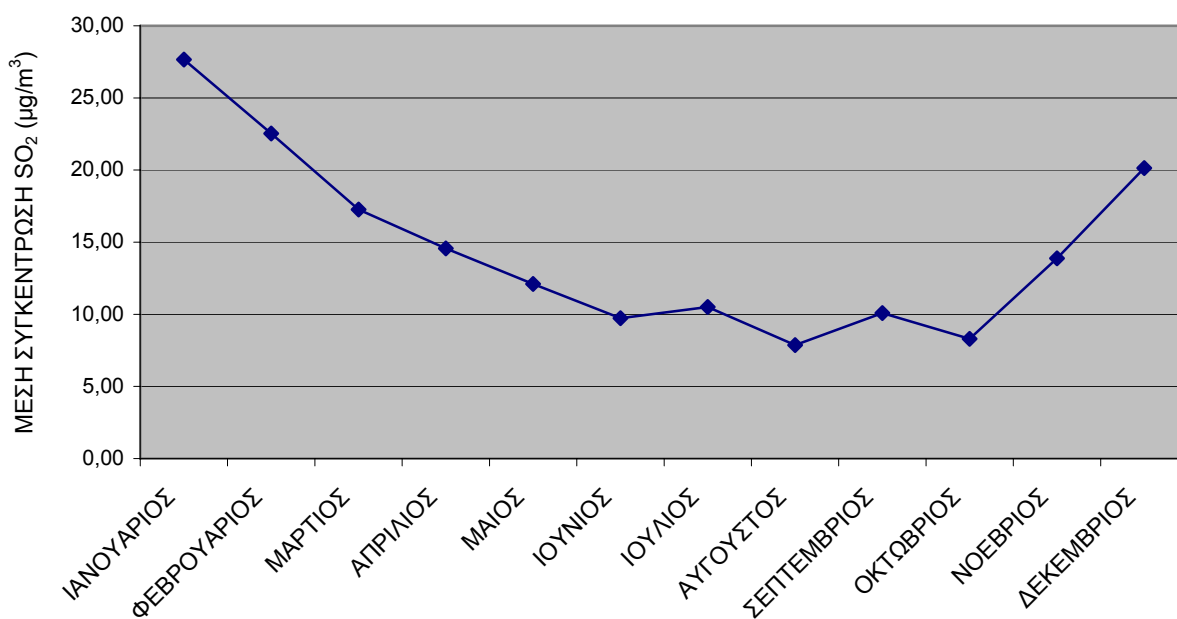
Διάγραμμα 4.14 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO₂), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002)

4.1.5.1 Σχολιασμός.

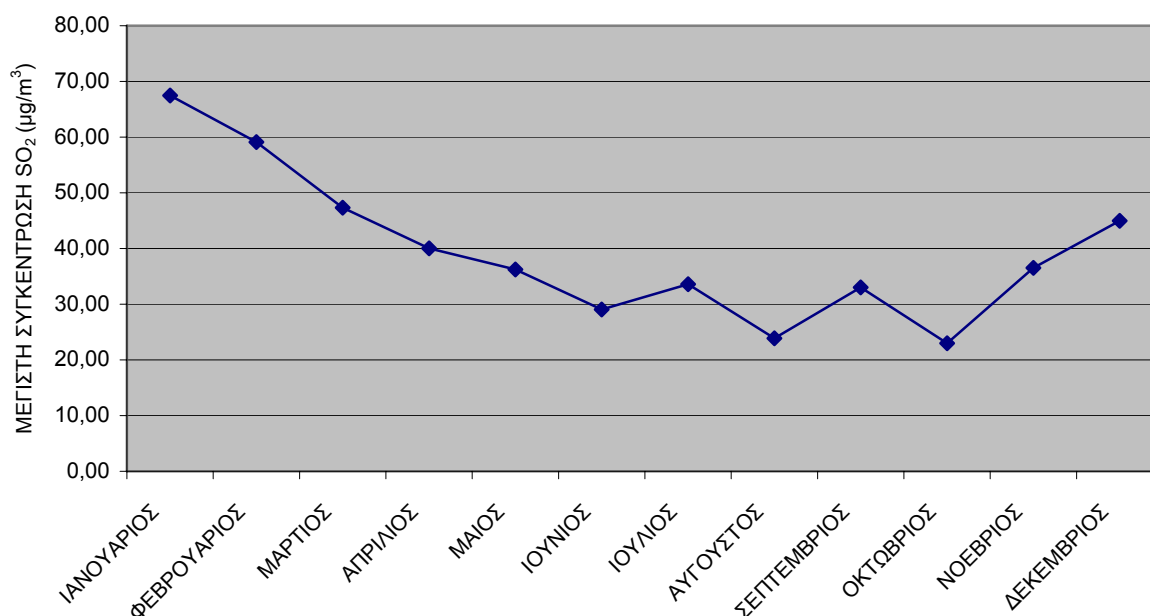
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 4.13 και 4.14 των μέσων και μέγιστων μηνιαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) δε διαπιστώνεται κάποια ξεκάθαρη μηνιαία ή εποχιακή μεταβολή, όπως σε αντίστοιχες περιπτώσεις προηγούμενων ρύπων (CO , NO , O_3). Το μήνα Αύγουστο, παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων, οι οποίες φτάνουν στα $35,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αντίθετα, το μήνα Φεβρουάριο, παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές των μέσων και μέγιστων μηνιαίων συγκεντρώσεων, φτάνοντας στα επίπεδα των $55,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $99,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε όλους τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, με εξαίρεση το Δεκέμβριο, παρατηρείται μια σταθερότητα της καμπύλης τιμών, κάτι που συνεχίζεται και κατά τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα. Η μόνη έκδηλη εξαίρεση, στην σταθερή πορεία της καμπύλης, είναι ο μήνας Αύγουστος, ο οποίος παρουσιάζει μια απότομη πτώση στις τιμές του και ακολουθεί μια εξίσου απότομη άνοδο αυτών, το μήνα Σεπτέμβριο. Αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι το διοξείδιο του αζώτου, ως δευτερογενής ρύπος προερχόμενος από το μονοξείδιο του αζώτου, ακολουθεί την αντίστοιχη πτωτική του πορεία σε έναν μήνα με περιορισμένες κινητές εστίες ρύπανσης στην πρωτεύουσα της χώρας, εξαιτίας της σημαντικής μείωσης του πληθυσμού της και των δραστηριοτήτων του. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως της Αθήνας, οι συγκεντρώσεις του ρύπου μπορεί να είναι και 1000 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που παρατηρούνται στην ύπαιθρο. Οι διακυμάνσεις τους εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, τα μετεωρολογικά φαινόμενα και τον όγκο της κυκλοφορίας οχημάτων. Πριν από το φως της ημέρας, παραμένουν σε σχετικά χαμηλές και σταθερές συγκεντρώσεις, ενώ με τις πρώτες πρωινές ώρες αυξάνονται γρήγορα και το μεσημέρι το διοξείδιο του αζώτου με τα υπόλοιπα οξειδωτικά της ατμόσφαιρας, φθάνουν στην κορύφωση της συγκέντρωσής τους.

4.1.4 Διοξείδιο του θείου (SO_2).

Στα διαγράμματα 4.15 και 4.16 που ακολουθούν απεικονίζονται οι μέσοι μηνιαίοι όροι των συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) του διοξειδίου του θείου (SO_2) για τη χρονική περίοδο της μελέτης, υπολογισμένοι ως προς τις μέσες και μέγιστες ημερήσιες τιμές τους αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4.15 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO₂), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002).



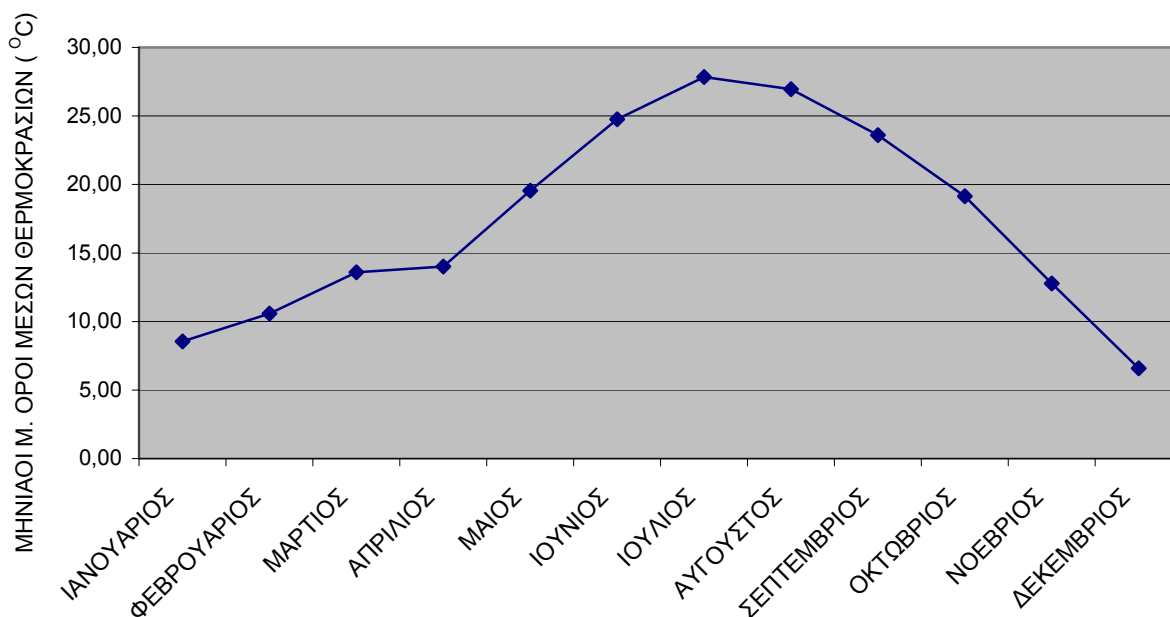
Διάγραμμα 4.16 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO₂), (Πηγή : Δ.Ε.Α.Π.Θ., 2002).

4.1.6.1 Σχολιασμός.

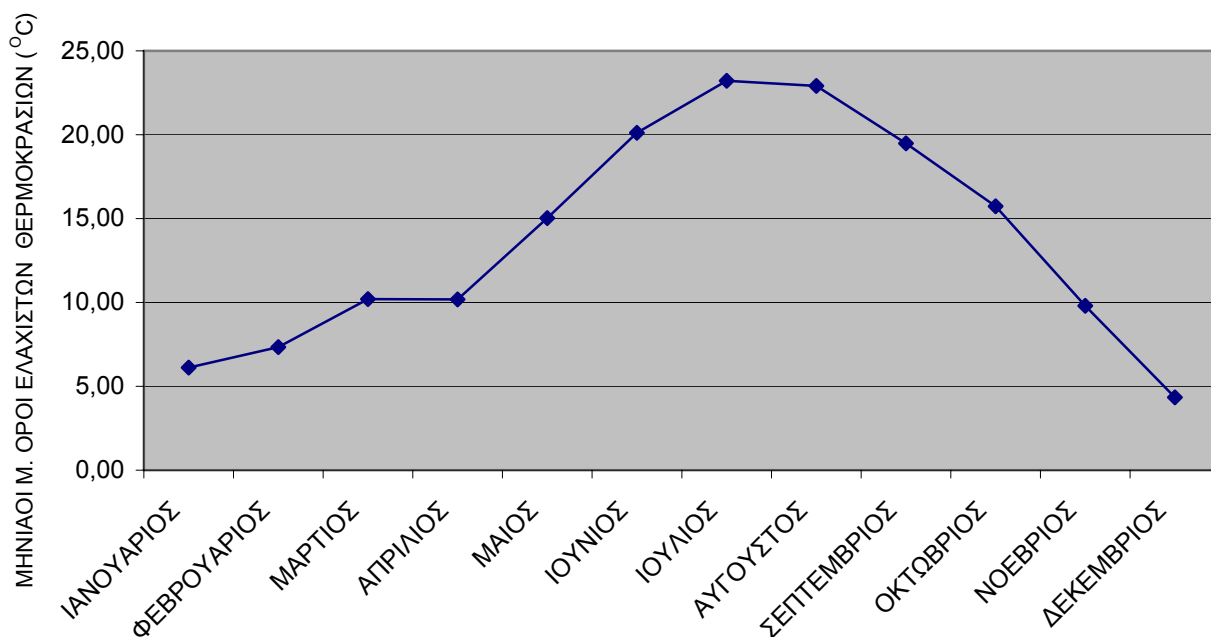
Τα διαγράμματα 4.15 και 4.16 των μέσων και μέγιστων αντίστοιχα μηνιαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (SO_2) εμφανίζεται μια εμφανής φθίνουσα κλίση της καμπύλης του ρύπου στους καλοκαιρινούς μήνες. Αντίθετα, στους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται μια αντίστοιχα ανοδική κλίση. Συγκεκριμένα το μήνα Αύγουστο, παρατηρείται η μικρότερη μέση μηνιαία συγκέντρωση του ρύπου, στα $7,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η μικρότερη μέγιστη μηνιαία τιμή παρατηρείται το μήνα Οκτώβριο, και είναι στα $23,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Από την άλλη, τον Ιανουάριο η μέση τιμή ανέρχεται στα $27,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η μέγιστη στα $67,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μόνη αξιοσημείωτη διαφορά σε σχέση με άλλες περιπτώσεις πρωτογενών ρύπων (CO , NO) είναι ότι για τους πρώτους μήνες του φθινοπώρου συνεχίζονται οι χαμηλές τιμές συγκέντρωσης του SO_2 , μέχρι την απότομη ανοδική τους πορεία, το μήνα Νοέμβριο. Το γεγονός αυτό οφείλεται αποκλειστικά στη λειτουργία των μονάδων κεντρικής θέρμανσης, που αρχίζει την περίοδο αυτή, οι οποίες καταναλώνουν πετρέλαιο με σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο (3000 ppm) από τον αντίστοιχο πετρέλαιο του τομέα των μεταφορών (350 ppm). Η οδική κυκλοφορία και συγκεκριμένα η πετρελαιοκίνηση, η οποία είναι σχεδόν η αποκλειστική πηγή του διοξειδίου του θείου την καλοκαιρινή περίοδο, ευθύνεται για τις χαμηλές τιμές του ρύπου το μήνα Αύγουστο, όταν όλες μεταφορικές δραστηριότητες μειώνονται σημαντικά. Οι σταθερές βιομηχανικές μονάδες οι οποίες λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αποτελούν μια σημαντική πηγή καύσης χωρίς να είναι όμως αυτές υπεύθυνες για τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις του ρύπου.

4.2.3 Κλιματικές παράμετροι.

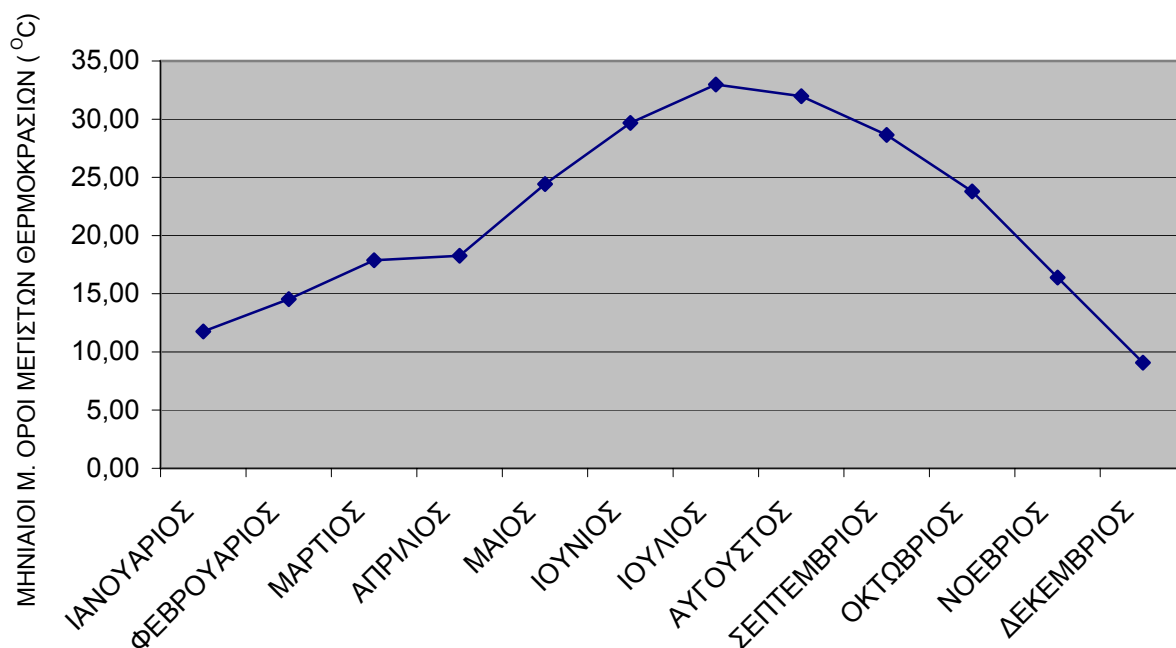
Στα διαγράμματα 4.17, 4.18, 4.19 και 4.20 απεικονίζονται οι μέσοι μηνιαίοι όροι των τιμών των κλιματικών παραμέτρων για τη μέση, μέγιστη, ελάχιστη θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και το ποσοστό υγρασίας (%) αντίστοιχα.



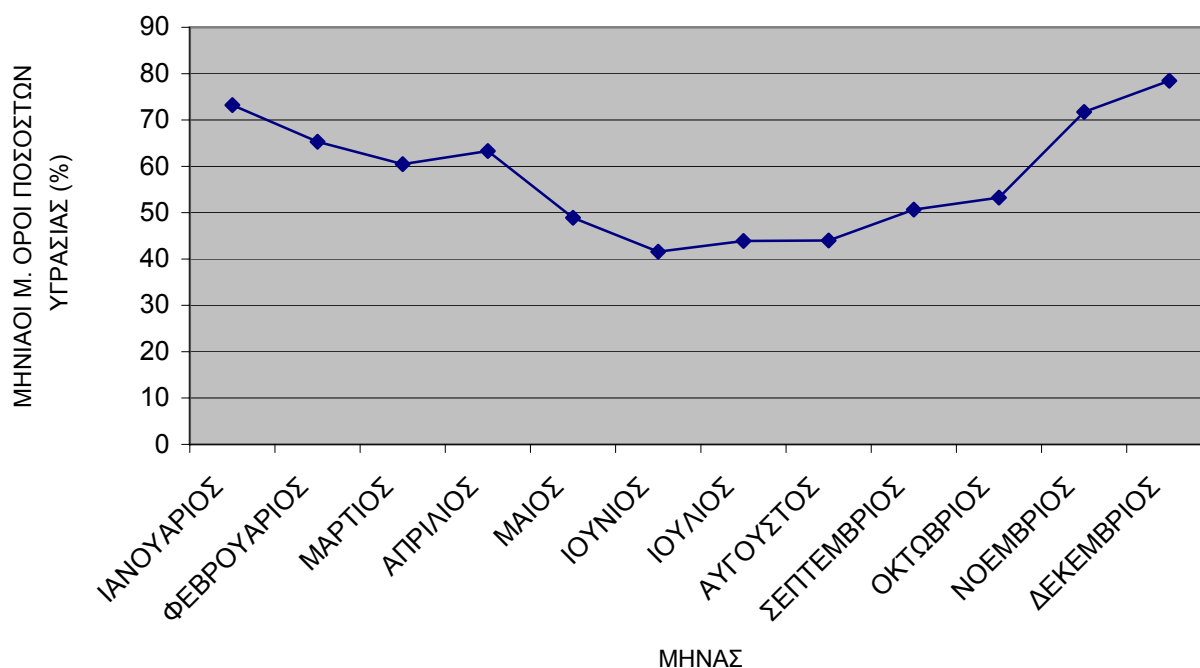
Διάγραμμα 4.17 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



Διάγραμμα 4.18 : Μηνιαίοι μέσοι όροι ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



Διάγραμμα 4.19 : Μηνιαίοι μέσοι όροι μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).



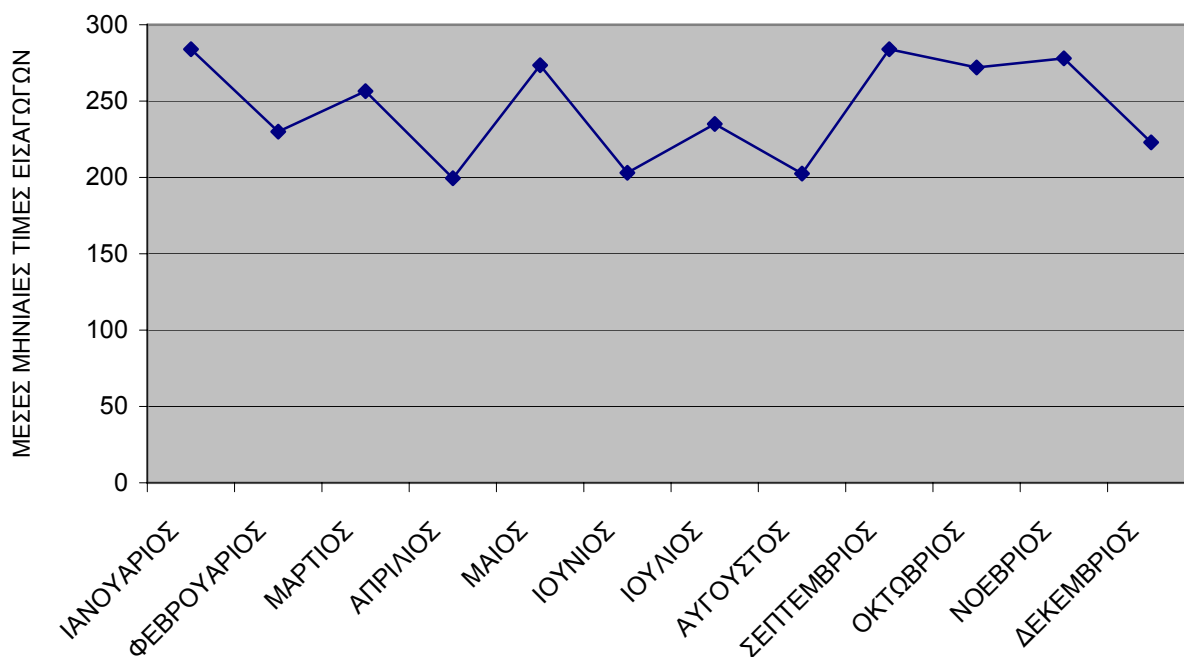
Διάγραμμα 4.20 : Μηνιαίοι μέσοι όροι ποσοστών υγρασίας της ατμόσφαιρας % (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).

4.2.3.1 Σχολιασμός.

Παρατηρώντας τη μεταβολή της καμπύλης από τα διαγράμματα 17, 18 και 19, των μηνιαίων μέσων όρων των μέσων, μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών περιβάλλοντος αντίστοιχα, διακρίνεται μια έντονη διακύμανση στις τιμές τους. Κατά τη χειμερινή περίοδο, οι μέσες μηνιαίες τιμές των θερμοκρασιών είναι σημαντικά χαμηλότερες σε σύγκριση με την καλοκαιρινή περίοδο. Στις ενδιάμεσες εποχές, του φθινοπώρου και της άνοιξης, οι θερμοκρασίες αντίστοιχα μειώνονται και αυξάνονται σταδιακά. Το ποσοστό της υγρασίας της ατμόσφαιρας, όπως φαίνεται από το διάγραμμα 20, είναι σημαντικά χαμηλότερο την καλοκαιρινή περίοδο, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να εξατμίζεται ένα μεγάλο ποσοστό της. Αντίθετα, όσο μειώνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος το ποσοστό της υγρασίας της ατμόσφαιρας αυξάνεται, με τη κορύφωση της τιμής του, την περίοδο του χειμώνα.

4.1.8 Εισαγωγές στα νοσοκομεία.

Στο διάγραμμα 4.21 απεικονίζονται οι μηνιαίοι μέσοι όροι των ολικών εισαγωγών (και των δύο φύλλων μαζί) στο σύνολο των νοσοκομείων, που περιλαμβάνονται στην έρευνα.



Διάγραμμα 4.21 : Μηνιαίοι μέσοι όροι συνολικών εισαγωγών (Πηγή : Δ.Ε.Α.Ρ.Θ., 2002).

4.1.8.1 Σχολιασμός.

Παρατηρώντας την πορεία της καμπύλης των μέσων μηνιαίων εισαγωγών στα νοσοκομεία της Αθήνας είναι ευδιάκριτη η σταθεροποίηση της, στους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, σε σχετικά υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εποχές του έτους. Αντίθετα, την καλοκαιρινή περίοδο και ιδιαίτερα τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο, η τιμή της καμπύλης βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα του έτους. Από την περίοδο της άνοιξης, εξαίρεση αποτελεί ο μήνας Μάιος, ο οποίος εμφανίζει υψηλά επίπεδα εισαγωγών, συγκρίσιμα με τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες.

4.2 Αποτελέσματα και σχολιασμός συσχετίσεων ρύπων, κλιματικών παραμέτρων και εισαγωγών.

Στους πίνακες 4.1 έως 4.21 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων της έρευνας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι συντελεστές παλινδρόμησης μεταξύ των εισαγωγών σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξεία στεφανιαία σύνδρομο (Ο.Σ.Σ.), για τη χρονική περίοδο 01/01/2001 έως 31/08/2002 και των τιμών συγκέντρωσης ρύπων και κλιματικών παραμέτρων. Τα αποτελέσματα διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση το φύλο των εισαχθέν ασθενών στα νοσοκομεία (άνδρες, γυναίκες και σύνολο εισαγωγών για τα δύο φύλα μαζί).

4.2.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων, κλιματικών παραμέτρων και εισαγωγών (των δυο φύλων μαζί).

Πίνακας 4.1: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	2,247	0,080	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	3,143	0,103	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	2,747	0,094	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	3,216	0,104	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	0,702	0,027	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,974	0,033	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,876	0,031	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,986	0,033	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	1,117	0,043	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,807	0,064	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	1,621	0,060	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,816	0,064	0,001

Πίνακας 4.2: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	-0,09	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,74	0,04	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,63	0,03	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,74	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,09	0,01	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,07	0,03	0,034
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,25	0,04	0,897
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,10	0,03	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,05	0,01	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,42	0,04	0,787
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,50	0,04	0,399
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,22	0,04	0,001

Πίνακας 4.3: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	0,60	0,02	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,89	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,80	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,89	0,03	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης τιμής του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	0,16	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,20	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,18	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,20	0,01	0,001

Πίνακας 4.4: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	0,92	0,03	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,09	0,04	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,99	0,04	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,18	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	0,42	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,56	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,53	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,60	0,02	0,001

Πίνακας 4.5: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM_{10} και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM_{10}	1,07	0,04	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,37	0,04	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	1,33	0,04	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,40	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM_{10}	0,22	0,01	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,26	0,01	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,25	0,01	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,28	0,01	0,001

Πίνακας 4.1: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των $PM_{2.5}$ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
$PM_{2.5}$	1,06	0,03	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,36	0,04	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	1,41	0,04	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,34	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
$PM_{2.5}$	0,20	0,01	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,24	0,01	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,24	0,01	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,24	0,01	0,001

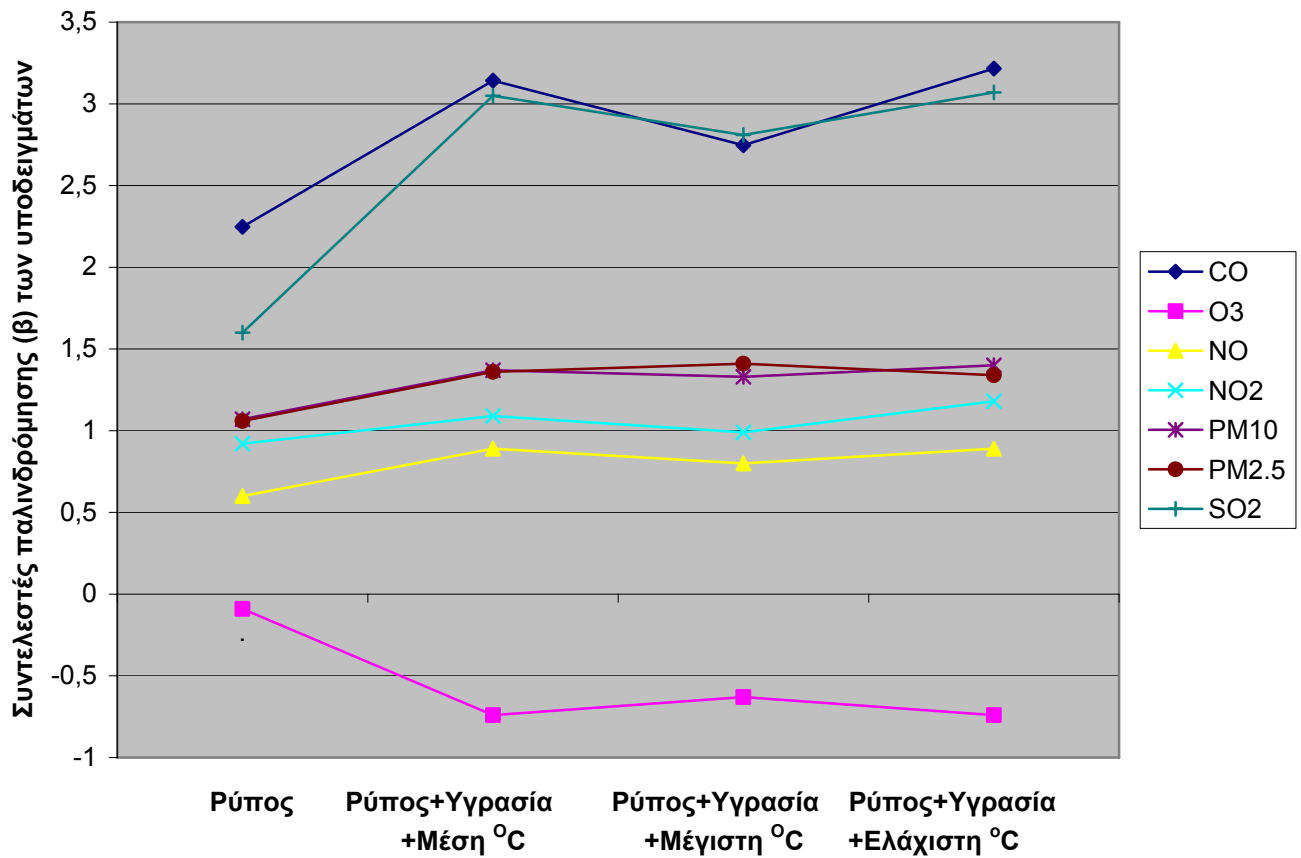
Πίνακας 4.7: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τα δύο φύλα μαζί.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO ₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	1,60	0,07	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	3,05	0,10	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	2,81	0,09	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	3,07	0,10	0,001

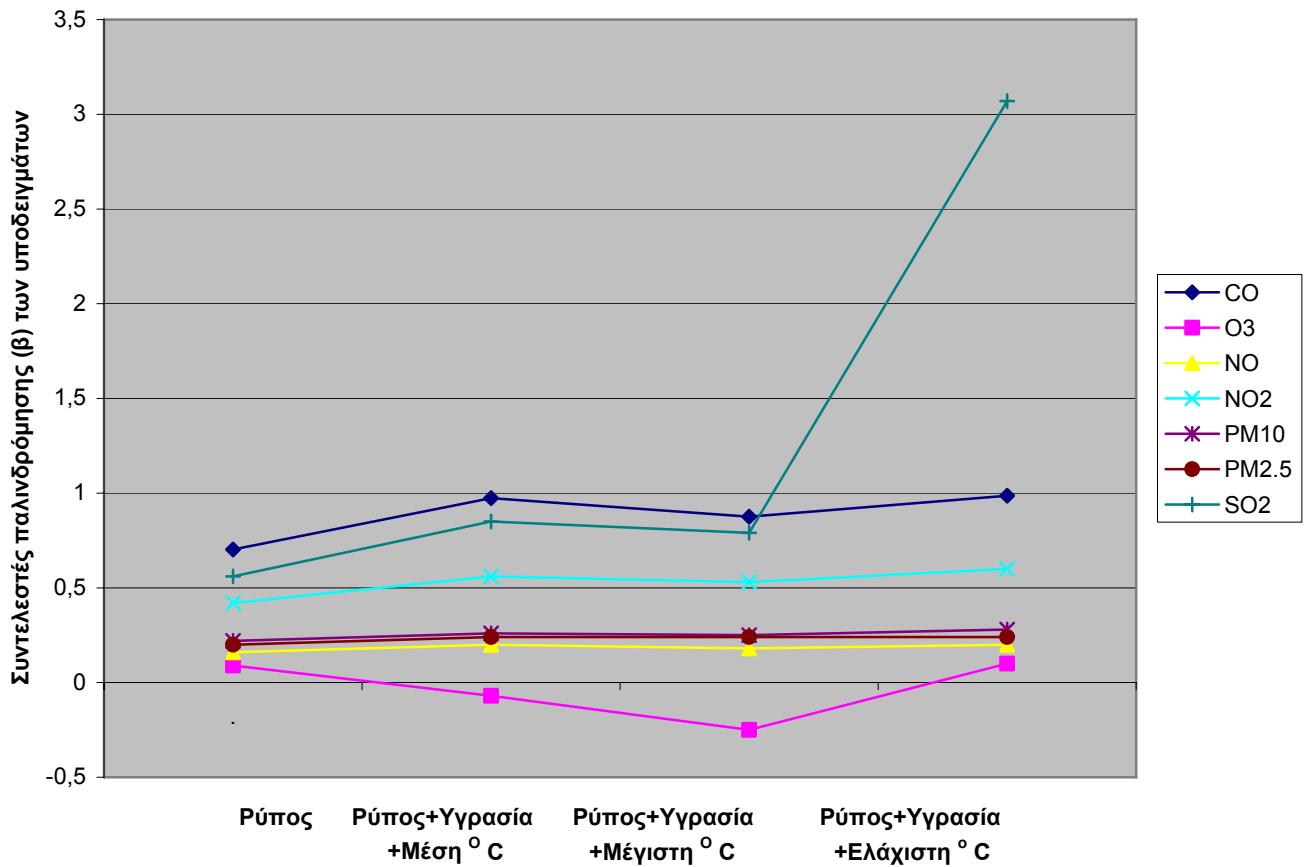
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO ₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	0,56	0,02	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,85	0,03	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,79	0,03	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,87	0,03	0,001

4.2.1.1 Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (των δυο φύλων μαζί).

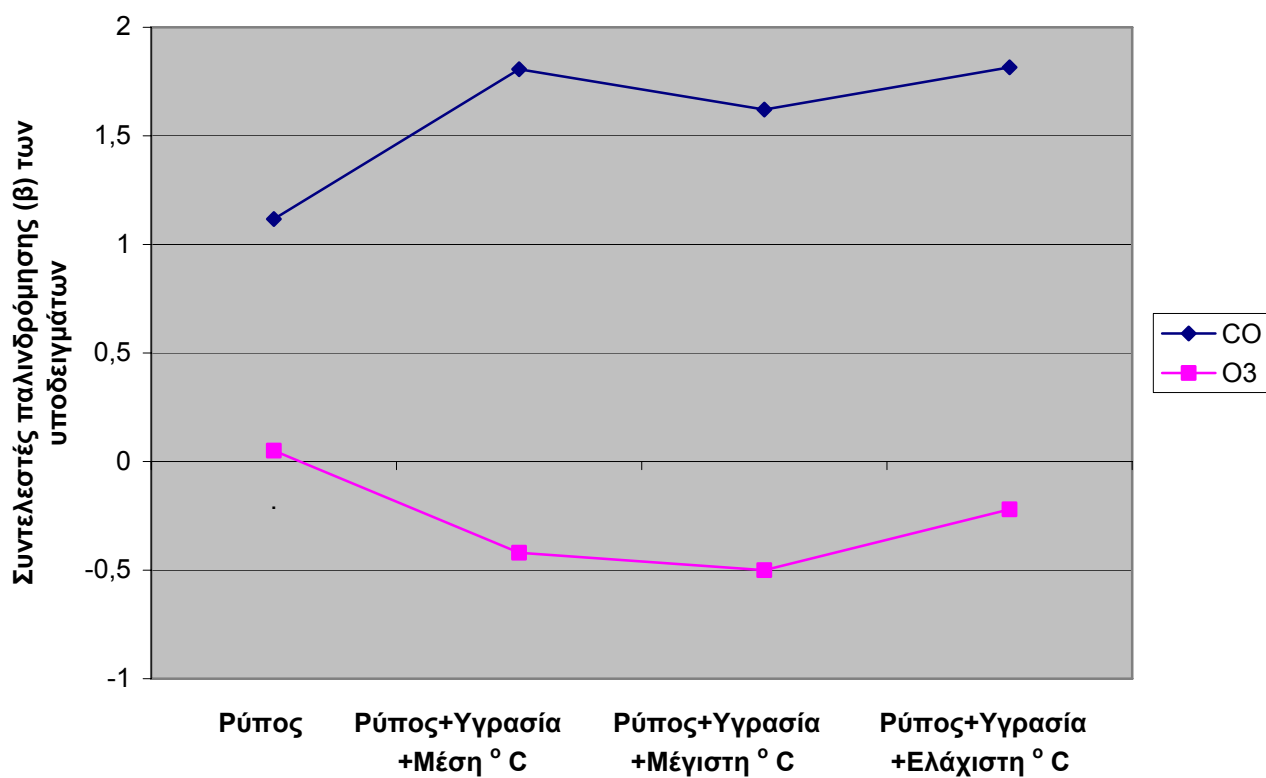
Στα διαγράμματα 4.22, 4.23 και 4.24 απεικονίζονται οι συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις τιμές συγκέντρωσης ρύπων και κλιματικών παραμέτρων. Απεικονίζονται αντίστοιχα αποτελέσματα για τις μέσες, μέγιστες και δωρες μέγιστες ημερήσιες τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων.



Διάγραμμα 4.22: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.



Διάγραμμα 4.23: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φύλων σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και κλιματικών παραμέτρων.



Διάγραμμα 4.24: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών και των δυο φυλών σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις δώρες μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και κλιματικών παραμέτρων.

4.2.2 Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (για τους άνδρες).

Πίνακας 4.8: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες..

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	1,269	0,113	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,301	0,132	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	1,179	0,133	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,384	0,129	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	0,304	0,034	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,301	0,042	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,265	0,042	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,330	0,041	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	0,732	0,070	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	1,046	0,097	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,952	0,095	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	1,093	0,095	0,001

Πίνακας 4.9: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,11	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,43	0,07	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,52	0,07	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,35	0,07	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,16	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,02	0,04	0,616
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,08	0,04	0,062
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,12	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,11	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,32	0,04	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,46	0,05	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,21	0,04	0,001

Πίνακας 4.10 : Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	0,36	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,43	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,40	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,45	0,03	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	0,06	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,06	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,05	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,06	0,01	0,001

Πίνακας 4.11: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	0,47	0,04	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,26	0,05	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,22	0,05	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,32	0,05	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	0,22	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,13	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,11	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,16	0,02	0,001

Πίνακας 4.12: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM_{10} και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM_{10}	0,54	0,04	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,38	0,06	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,31	0,06	0,057
PM_{10} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,48	0,05	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM_{10}	0,14	0,01	0,001
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,08	0,02	0,904
PM_{10} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,06	0,02	0,094
PM_{10} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,11	0,02	0,002

Πίνακας 4.13: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των $PM_{2.5}$ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

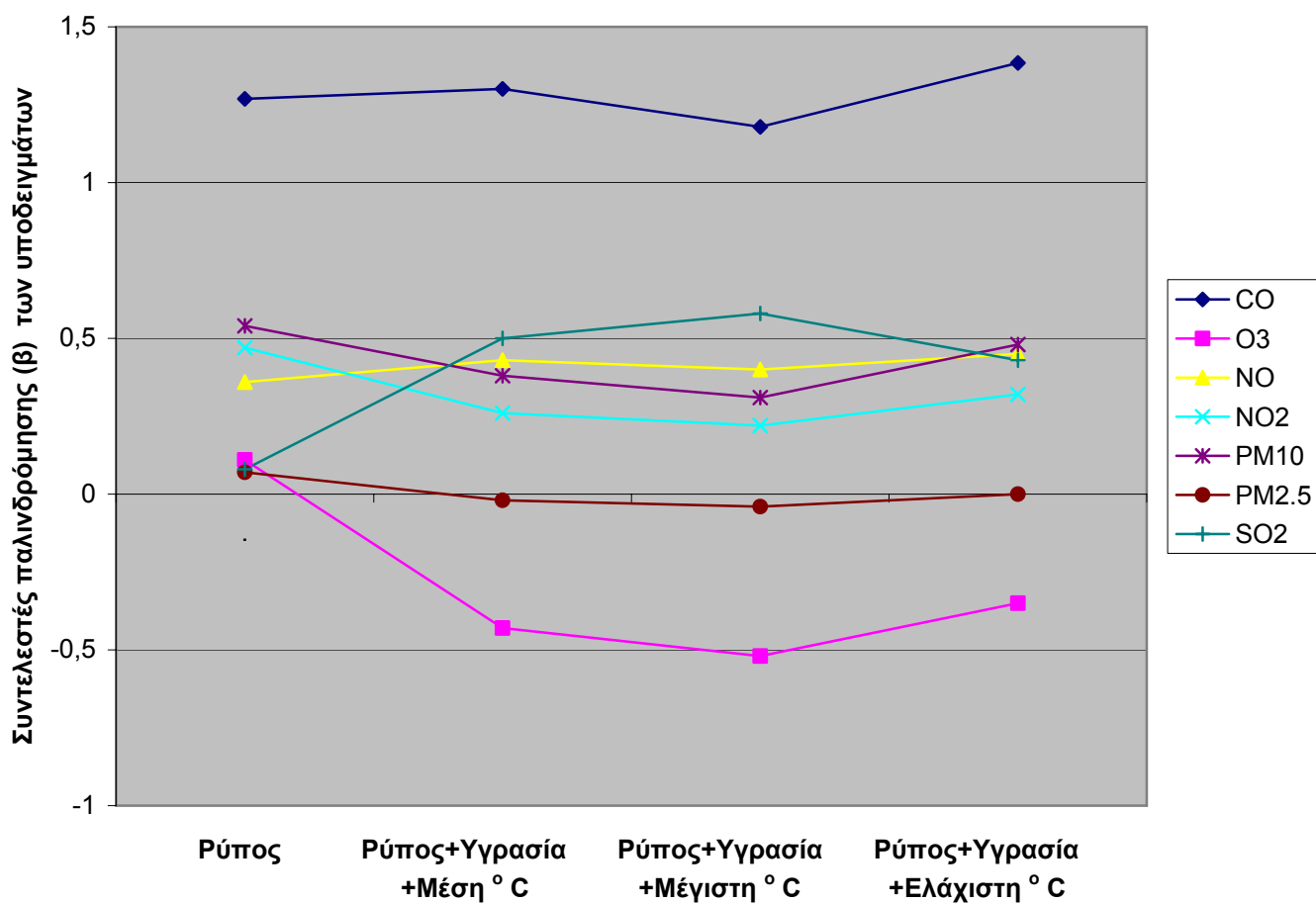
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
$PM_{2.5}$	0,07	0,01	0,885
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,02	0,02	0,302
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,04	0,02	0,030
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,00	0,02	0,961
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
$PM_{2.5}$	0,01	0,00	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,01	0,01	0,016
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,02	0,01	0,001
$PM_{2.5}$ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,01	0,00	0,182

Πίνακας 4.14: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τους άνδρες.

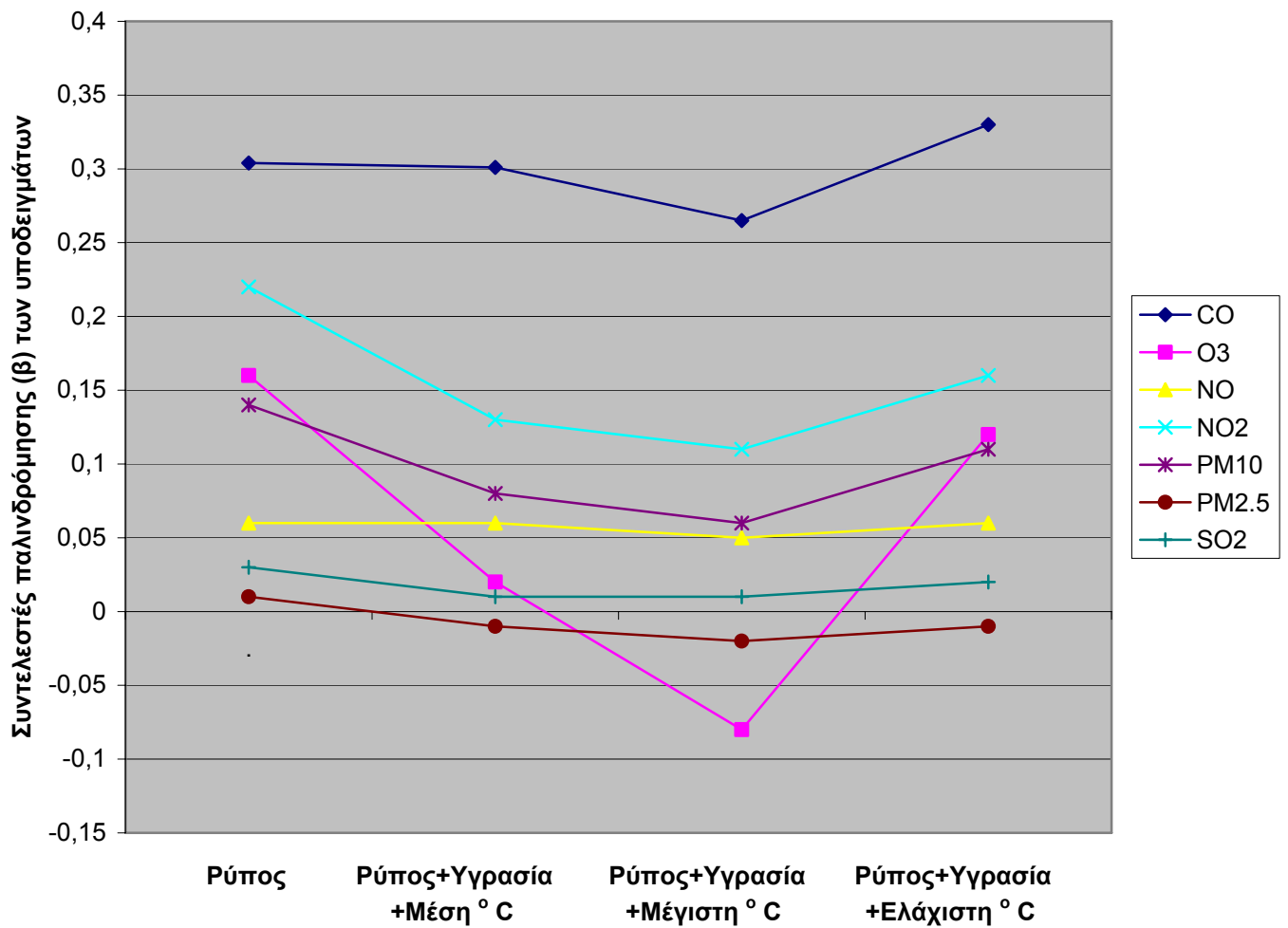
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	0,08	0,07	0,253
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,50	0,09	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,58	0,09	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,43	0,09	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	0,03	0,02	0,155
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,01	0,02	0,717
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,01	0,02	0,620
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,02	0,02	0,512

4.2.2.1 Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών για τους άνδρες.

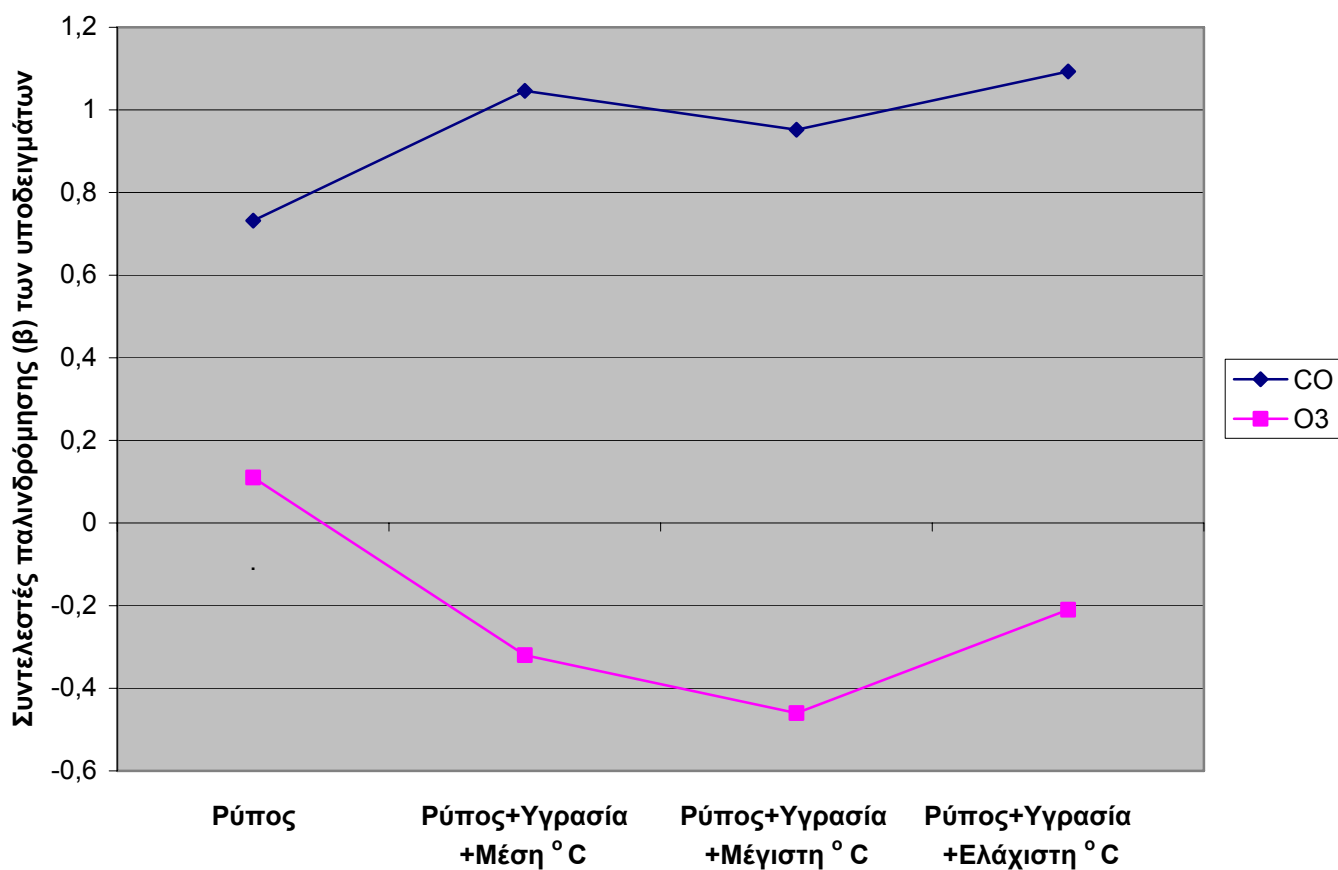
Στα διαγράμματα 4.25, 4.26 και 4.27 απεικονίζονται οι συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους. Απεικονίζονται αντίστοιχα αποτελέσματα για τις μέσες, μέγιστες και 8ωρες μέγιστες ημερήσιες τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων.



Διάγραμμα 4.25: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.



Διάγραμμα 4.26: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.



Διάγραμμα 4.27: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του ανδρικού πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες δώρες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.

4.2.3 Αποτελέσματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών (για τις γυναίκες).

Πίνακας 4.15: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του CO και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	-0,715	0,087	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-1,523	0,132	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-1,570	0,131	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-1,541	0,133	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	-0,160	0,023	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,511	0,044	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,527	0,043	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,523	0,044	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του μονοξειδίου του άνθρακα και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
CO	-0,444	0,049	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,870	0,077	0,001
CO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,899	0,075	0,001
CO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,885	0,077	0,001

Πίνακας 4.16: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του O₃ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,81	0,04	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,53	0,06	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,60	0,06	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,54	0,06	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,30	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,29	0,05	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,26	0,05	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,26	0,04	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 8ωρης τιμής του όζοντος και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
O ₃	0,45	0,02	0,001
O ₃ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,05	0,05	0,259
O ₃ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,12	0,05	0,010
O ₃ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,07	0,05	0,142

Πίνακας 4.17: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	0,45	0,02	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	0,05	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	0,12	0,03	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	0,07	0,03	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του μονοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO	-0,03	0,00	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,13	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,13	0,01	0,001
NO + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,14	0,01	0,001

Πίνακας 4.18: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του NO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	-0,01	0,04	0,861
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-1,01	0,07	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-1,01	0,07	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-1,04	0,07	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του αζώτου και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
NO ₂	0,22	0,02	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,55	0,04	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,56	0,04	0,001
NO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,55	0,04	0,001

Πίνακας 4.19: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM₁₀ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM ₁₀	0,19	0,03	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,70	0,06	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,71	0,06	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,68	0,06	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM ₁₀	0,06	0,01	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,21	0,02	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,22	0,02	0,001
PM ₁₀ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,21	0,02	0,001

Πίνακας 4.20: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών των PM_{2.5} και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

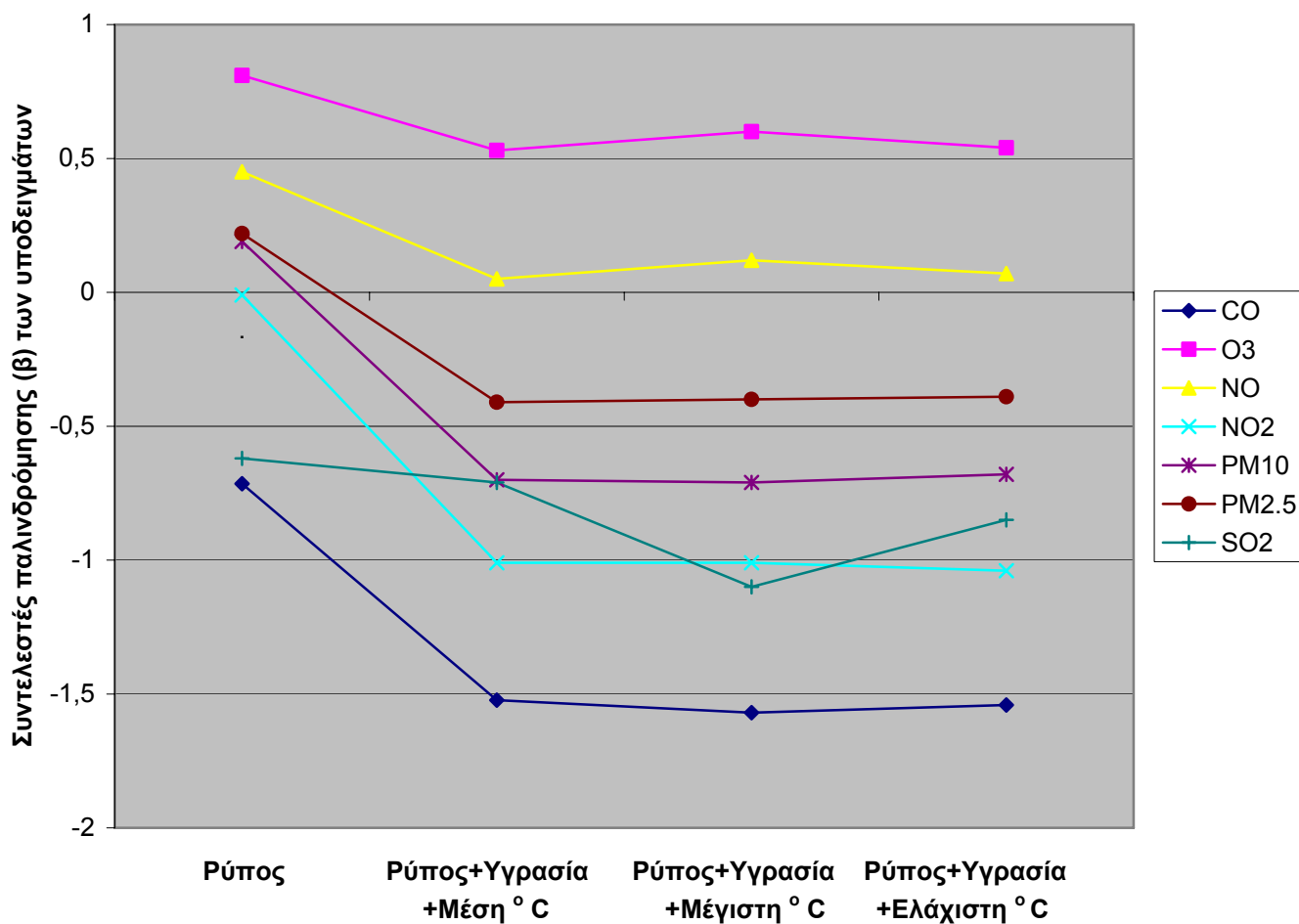
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM _{2.5}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM _{2.5}	0,22	0,03	0,001
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,41	0,05	0,001
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,40	0,05	0,001
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,39	0,05	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής των αιωρούμενων σωματιδίων (PM _{2.5}) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
PM _{2.5}	0,02	0,01	0,075
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,13	0,01	0,001
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,13	0,01	0,001
PM _{2.5} + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,12	0,01	0,001

Πίνακας 4.21: Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία των τιμών του SO₂ και των κλιματικών παραμέτρων για τις γυναίκες.

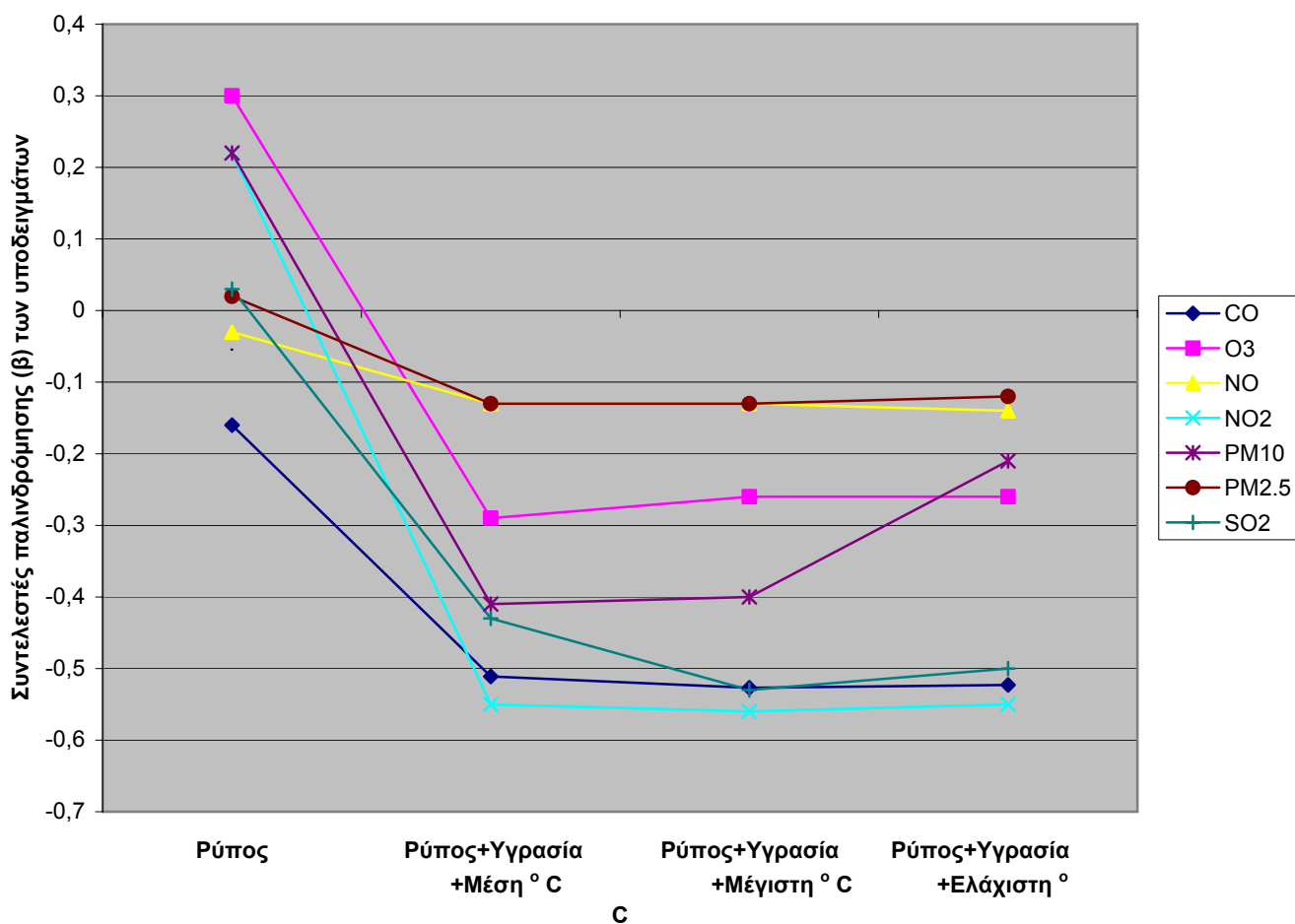
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέσης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	-0,62	0,07	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,71	0,17	0,010
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-1,10	0,17	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,85	0,18	0,001
Επίδραση στις εισαγωγές στα νοσοκομεία της μέγιστης 24ωρης τιμής του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των κλιματικών παραμέτρων	β	τυπικό σφάλμα	P
SO ₂	0,03	0,02	0,225
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέση θερμοκρασία	-0,43	0,07	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + μέγιστη θερμοκρασία	-0,53	0,06	0,001
SO ₂ + σχετική υγρασία + ελάχιστη θερμοκρασία	-0,50	0,07	0,002

4.2.3.1 Διαγράμματα συσχετίσεων ρύπων και εισαγωγών για τις γυναίκες.

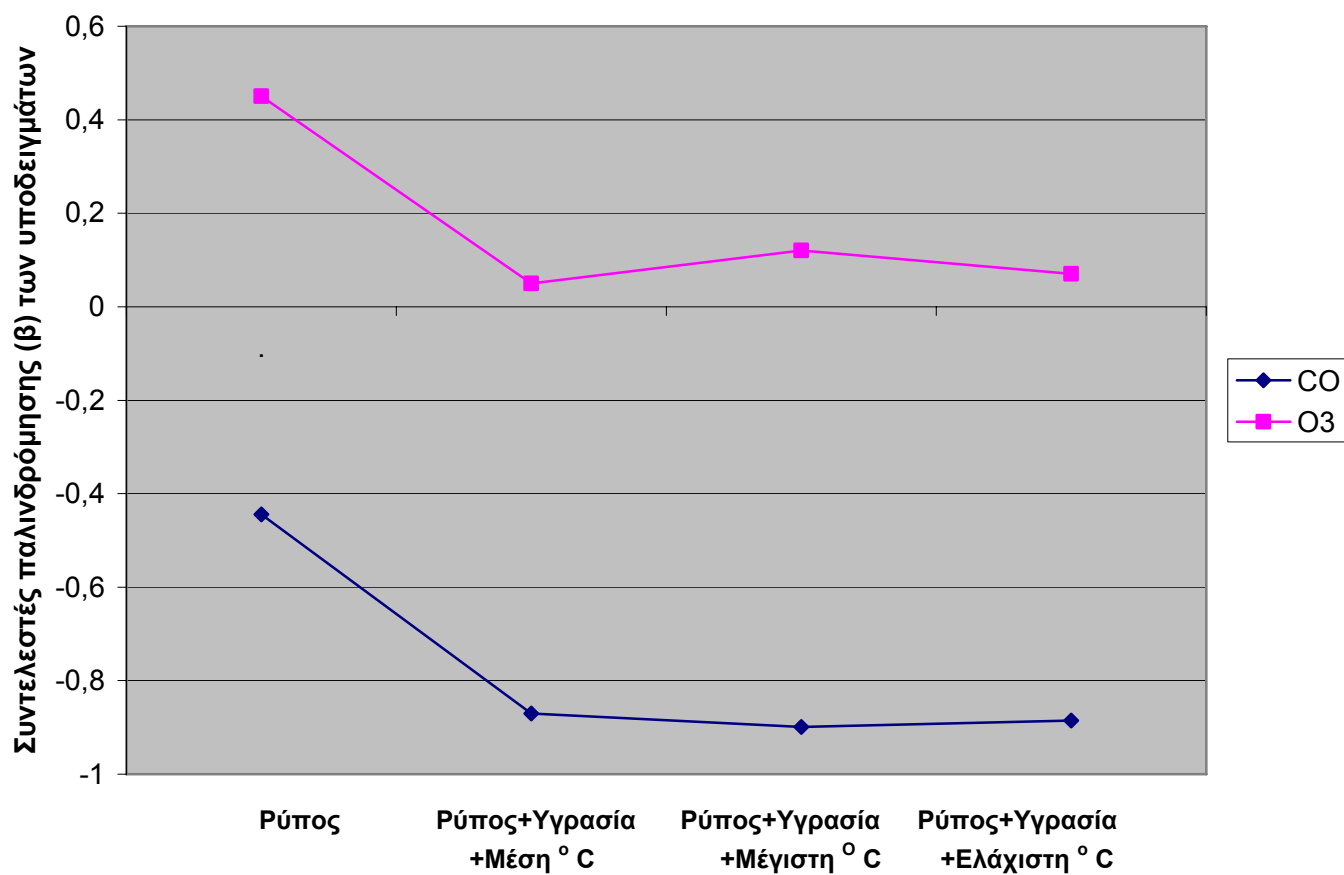
Στα διαγράμματα 4.28, 4.29 και 4.30 απεικονίζονται οι συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους. Απεικονίζονται αντίστοιχα αποτελέσματα για τις μέσες, μέγιστες και δώρες μέγιστες ημερήσιες τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων.



Διάγραμμα 4.28: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.



Διάγραμμα 4.29: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις μέγιστες ημερήσιες τιμές ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.



Διάγραμμα 4.30: Συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών του γυναικείου πληθυσμού σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο με τις δωρες μέγιστες τιμές συγκέντρωσης ρύπων και τις κλιματικές παραμέτρους.

4.2.4 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.

4.2.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα.

4.2.4.1.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.1 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 1 mg/m^3 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 2,247. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,702, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 1,117. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα, παρατηρείται ότι επιδρούν θετικά και στατιστικά σημαντικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του άνθρακα και ιδιαίτερα η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 2,247 σε 3,143, 2,747 και 3,216 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,702 σε 0,974, 0,876 και 0,986 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα ενώ στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης παρατηρείται μια μεταβολή από 1,117 σε 1,807, 1,621 και 1,816 αντίστοιχα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.8 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 1 mg/m^3 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 1,269. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,304, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης κυλιόμενης 8ωρης τιμής, παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,732. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι δεν επηρεάζουν σημαντικά την συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του άνθρακα, εκτός από την περίπτωση προσθήκης της ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη συσχέτιση της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του ρύπου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 1,269 σε 1,301, 1,179 και 1,384 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο

υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,304 σε 0,301, 0,265 και 0,330 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα, ενώ για τη μέγιστη 8ωρη συγκέντρωση παρατηρείται μια μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης από 0,732 σε 1,046, 0,952 και 1,093 αντίστοιχα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.15 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 1 mg/m^3 παρατηρείται μια μείωση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,715. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μείωση στις εισαγωγές κατά 0,160, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής παρατηρείται μια μείωση στις εισαγωγές κατά 0,732. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επηρεάζουν αρνητικά την συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του άνθρακα. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από -0,715 σε -1,523, -1,570 και -1,541 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από -0,160 σε -0,511, -0,527 και -0,523 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα, ενώ για τη μέγιστη 8ωρη συγκέντρωση παρατηρείται μια μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης από -0,444 σε -0,870, -0,899 και -0,885 αντίστοιχα.

4.2.4.1.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.

Οι υψηλές τιμές των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι ικανές να επηρεάσουν σημαντικά τον ανθρώπινο αερόβιο μεταβολισμό, εξαιτίας της υψηλής του έλξεως από την αιμοσφαιρίνη, τη χημική ουσία των ερυθρών αιμοσφαιρίων που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες και το αποδίδει στους ιστούς, προκαλώντας έτσι αναστολή της δράσης των μιτοχονδριακών ενζύμων. Η καρδιά του ανθρώπου είναι πιο ευαίσθητη στην έλλειψη οξυγόνου, διότι ενώ οι περιφερειακοί ιστοί του σώματος παίρνουν περίπου το 25% από το οξυγόνο του αίματος των αρτηριών, ο καρδιακός μυς χρειάζεται τριπλάσια ποσότητα για τη σωστή λειτουργία του. Επιδημιολογικές μελέτες εμφανίζουν μια αύξηση των μονίμων καρδιακών προβλημάτων σε πολίτες ύστερα από παρατεταμένες εκθέσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις CO, το οποίο δείχνει να ευθύνεται, κατά παρόμοιο ποσοστό με τη χοληστερόλη, για τη δημιουργία ενός λιπαρού στρώματος στα αιμοφόρα αγγεία έχοντας αθροιστική δράση, όπως και για την τάση συγκόλλησης των αιμοπεταλίων κατά την κυκλοφορία τους μέσα στις αρτηρίες του ανθρώπινου οργανισμού (βλέπε κεφ. 2.2.1.4).

Το μονοξείδιο του άνθρακα σχηματίζεται από την ατελή καύση του άνθρακα, η οποία παρατηρείται όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική ποσοτική αναλογία ανάμεσα στον αέρα

και το καύσιμο, όπως και κατάλληλος χρόνος για την πλήρη μετατροπή των υδρογονανθράκων των καυσίμων σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Σημαντικό ρόλο στην αποτροπή αυτού του φαινομένου έχει η σωστή επιλογή των συνθηκών καύσης όπως και η καλύτερη ανάμιξη καυσίμου-αέρα, τόσο στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και θερμάνσεως, όσο και στα μεταφορικά μέσα. Η οδική κυκλοφορία είναι η κυριότερη πηγή εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, εμφανίζοντας πολύ υψηλά επίπεδα και σε παρόμοια πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα, όταν η κυκλοφορία των οχημάτων είναι πυκνή και η κίνηση αργή. Εξαιτίας ενός συνδυασμού παραγόντων, όπως της μεγάλης χρήσης ιδιωτικών αυτοκινήτων από τους πολίτες της Αθήνας και του ανεπαρκούς οδικού δικτύου της πόλης, αλλά και της ιδιαιτερότητας του ρύπου να εκπέμπεται στο ύψος των πνευμόνων του ανθρώπου, το μονοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε έναν πολύ επικίνδυνο ρύπο για την ανθρώπινη υγεία (βλέπε κεφ. 1.3.2.1).

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας βλαβερός πρωτογενής ατμοσφαιρικός ρύπος. Μια μικρή αύξηση της συγκεντρώσεως του είναι ικανή να προκαλέσει μια σημαντική αύξηση των εισαγωγών από καρδιαγγειακά επεισόδια, ιδιαίτερα για τον ανδρικό πληθυσμό, στους πολίτες της Αθήνας. Ο αριθμός των ημερήσιων εισαγωγών θα διπλασιάζονταν σε όλες τις περιπτώσεις (όπως για παράδειγμα από 2,247 σε 4,494 στη περίπτωση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου) εάν μετατραπεί η αύξηση της ημερήσιας συγκέντρωσης από 1 σε 2 mg/m³, γεγονός αρκετά συχνό στην ατμόσφαιρα της πόλης. Στη συγκεκριμένη έρευνα επίσης διαπιστώνεται ότι οι κλιματικοί παράγοντες επιδρούν θετικά στη συσχέτιση του ρύπου με τις εισαγωγές και ειδικά στην περίπτωση εξέτασης των ανδρών, αλλά και των δυο φύλλων μαζί, αυξάνοντας τα αποτελέσματα των εισαγωγών, ιδιαίτερα στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αντίθετα, ο γυναικείος πληθυσμός δεν δείχνει να επηρεάζεται από την αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου, όπως και από την επίδραση των κλιματικών παραγόντων.

Παρατηρώντας τις μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα για την πόλη της Αθήνας, διαπιστώνονται σημαντικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά την περίοδο του χειμώνα σε βαθμό που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί, ως κυρίως χειμερινός ρύπος. Στα τέλη του φθινοπώρου προς τις αρχές του χειμώνα (όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3) οι συγκεντρώσεις του ρύπου στην ατμόσφαιρα της πόλης φτάνουν τις ανώτερες τιμές του έτους εξαιτίας του έντονου κυκλοφοριακού προβλήματος της περιόδου αυτής και των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος επηρεάζουν τις συνθήκες καύσης και την καλή ανάμιξη αέρα-καυσίμου, ιδιαίτερα στην περίπτωση των μηχανών εσωτερικής καύσεως (κτύπος μηχανής), παράγοντας μεγαλύτερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, οι άνεμοι σχετικά χαμηλής εντάσεως που επικρατούν την περίοδο αυτή όχι μόνο δεν διευκολύνουν το διασκορπισμό των πρωτογενών ρύπων αλλά αντιθέτως ενισχύουν την συσσώρευση τους στο λεκανοπέδιο της Αθήνας. Τα σοβαρότερα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Αθήνας έχουν συμβεί κάτω από σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες, τη περίοδο του χειμώνα και του φθινοπώρου. Ασθενείς ή χαμηλής εντάσεως άνεμοι καταφέρνουν να διεισδύσουν στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα στρώμα πολύ λεπτού πάχους που δεν διευκολύνεται ο αερισμός του. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής, η οποία σχηματίζει ένα ατμοσφαιρικό στρώμα στασιμότητας, όπου παύει κάθε κίνηση ανανέωσης του αέρα και μόλις

εισέλθουν οι θερμές μάζες των ρύπων ανέρχονται για λίγο, ψύχονται, συναντούν στρώματα θερμότερα και σταματά η ανοδική τους πορεία (Kassomenos *et al.*, 1994).

Συγχρόνως, στην Αθήνα, μια πόλη χτισμένη πάνω στα παράλια της Μεσογείου και σχετικά κοντά στην έρημο Σαχάρα, μεταφέρονται καυτές και υγρές, εξαιτίας της διάβασης τους πάνω από τη θάλασσα, αέριες μάζες που προκαλούν απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές και αποτελούν την πιο δυσμενή συνοπτική ροή ανέμου για την ανθρώπινη υγεία. Η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπεδίου της Αττικής δυσχεραίνει σημαντικά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, τον αερισμό και τη διάχυση των ρύπων με αποτέλεσμα οι ορεινοί όγκοι να λειτουργούν ως ένα τεράστιο θερμοκήπιο, συγκρατώντας τους ρύπους εντός του (Kassomenos *et al.*, 1994).

Μια άλλη ερμηνεία των σημαντικότερων επιδράσεων του μονοξειδίου του άνθρακα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, εκτός της συσχέτισης τους με τις εκπομπές μεγαλύτερων συγκεντρώσεων του ρύπου, μπορεί να αποτελεί και η δυσμενής επίπτωση που έχει το κρύο στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου. Σε αρκετές μελέτες έχει διαπιστωθεί αύξηση της συχνότητας πρόκλησης οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου την περίοδο του χειμώνα, όπως σε μια παλαιότερη εργασία για την πόλη της Αθήνας (Touloumi *et al.*, 1994), όπου παρατηρήθηκε μια αύξηση κατά 10% στην ανθρώπινη θνησιμότητα όταν η μέγιστη ημερήσια 8ωρη συγκέντρωση του ρύπου αυξήθηκε κατά 10 mg/m³. Κατά τη διερεύνηση της ύπαρξης εποχικότητας στις επιδράσεις του ρύπου παρατηρήθηκε μια αυξητική τάση στη θνησιμότητα τη χειμερινή περίοδο. Σε μια παρόμοια μελέτη (Pantazopoulou *et al.*, 1995) παρατηρήθηκε ότι σε μια μεταβολή, κατά τη χειμερινή περίοδο, της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα από 4,5 mg/m³ σε 5,3 mg/m³ εμφανίζεται αύξηση των εισαγωγών από καρδιαγγειακά επεισόδια κατά 11,2 μονάδες. Αντίθετα, τη θερινή περίοδο και σε μια μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου από 3,4 mg/m³ σε 4,3 mg/m³ παρουσιάστηκε μια αντίστοιχη αύξηση των εισαγωγών κατά 1,4 μονάδες. Για την περίοδο 1992-1997, παρατηρήθηκε μια αύξηση της ανθρώπινης θνησιμότητας εξαιτίας καρδιαγγειακών επεισοδίων κατά 5%, σε μια αντίστοιχη αύξηση της ημερήσιας συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 1 mg/m³, για την πόλη της Αθήνας (Παναγιωτάκος και Πιτσάβος, 2003).

Σε παρόμοιες μελέτες άλλων μεγαλουπόλεων, όπως της πόλης της Τεχεράνης, για τη χρονική περίοδο 1996-2001, παρατηρήθηκε σε μια αύξηση της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 1 mg/m³ μια αντίστοιχη αύξηση των εισαγωγών από ασταθή στηθάγχη κατά 7,37% (Hosseinpoor *et al.*, 2005). Στο Σάο Πάολο, σε μια αντίστοιχη εργασία για τη χρονική περίοδο 01/1994-08/1995), παρατηρήθηκε ότι μια αύξηση της μέγιστης ημερήσιας 8ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 1 mg/m³ προκάλεσε μια αντίστοιχη αύξηση της θνησιμότητας κατά 2,8% την περίοδο του χειμώνα και κατά 2,7% τη θερινή περίοδο (Lin *et al.*, 2003).

Μια ακόμη ερμηνεία δίνεται από το γεγονός ότι στην Αθήνα, όπως και στις περισσότερες πόλεις των άλλων ερευνών, δεν εμφανίζονται δριμύς και διαρκείς χειμώνες, με αποτέλεσμα οι πολίτες να μην είναι συνηθισμένοι και σωστά εξοπλισμένοι, στα ακραία καιρικά φαινόμενα των χαμηλών θερμοκρασιών. Αντίθετα, σε μια έρευνα σε δέκα πόλεις του Καναδά (Burnet *et al.*, 1997), δεν παρατηρήθηκε κάποια σοβαρή μεταβολή του αποτελέσματος των συσχετίσεων, όταν λαμβάνονται υπόψη κλιματικοί παράγοντες στο υπόδειγμα. Στη μελέτη αυτή μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 2 mg/m³ επέφερε μια αντίστοιχη μέση

αύξηση των καρδιαγγειακών επεισοδίων σε όλες τις πόλεις κατά 6,5%. Επίσης, σε μια μελέτη για ηλικιωμένους πολίτες (άνω των 65 ετών) οχτώ διαφορετικών πόλεων των Η.Π.Α. (Schwartz *et al.*, 1995) και κατά τον έλεγχο της επίδρασης μιας αύξησης της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 1,75 ppm, παρατηρείται μια μέση αύξηση των εισαγωγών κατά 2,79% σε όλες τις πόλεις, η οποία έδειξε ανεξάρτητη από την επίδραση τοπικών κλιματικών παραγόντων.

Οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, με βάση των αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αλλά και της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετίζονται και αυτές, σε μικρότερο όμως βαθμό, με την αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία. Σε μια εργασία, για τη πόλη της Βαλένθια παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση των καρδιαγγειακών επεισοδίων μόνο με τις υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όταν σε μια αύξηση τη μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 1 mg/m³ παρουσιάστηκε αύξηση κατά 2,9% στις εισαγωγές. Αυτό κυρίως οφείλεται στις πολύωρες εκθέσεις των πολιτών της Βαλένθιας και της Αθήνας στους ρύπους του εξωτερικού περιβάλλοντος εξαιτίας του ήπιου κλίματος που επικρατεί τη μεγαλύτερη περίοδο του έτους, κάτι που συμβαίνει και σε άλλες Μεσογειακές πόλεις με παρόμοιο κλίμα. Συγχρόνως υπάρχει η πιθανότητα να εισέλθουν σημαντικές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό των κατοικιών σε περιοχές με ιδιαίτερα φορτισμένο οδικό δίκτυο, εξαιτίας της διαρκούς εναλλαγής εσωτερικού και εξωτερικού αέρα από τους ίδιους τους ενοίκους (Ballester *et al.*, 2000).

4.2.4.2 Όζον (O₃).

4.2.4.2.1 Αποτελέσματα συσχέτισεων.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.2 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 10 µg/m³ παρατηρείται μια μικρή μείωση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,09. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,09, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,05. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το όζον. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια φθίνουσα μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης από -0,09 σε -0,74, -0,63 και -0,74 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,09 σε 0,10 με την προσθήκη της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο υπόδειγμα, ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση για τις άλλες 2 κλιματικές παραμέτρους. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,05 σε -0,22 με την προσθήκη της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο υπόδειγμα,

ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση για τις άλλες 2 κλιματικές παραμέτρους.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.9 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,11. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,16, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,11. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το όζον. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,11 σε -0,43, -0,52 και -0,35 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,16 σε 0,12 με την προσθήκη της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος αντίστοιχα στο υπόδειγμα, ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση για τις άλλες 2 κλιματικές παραμέτρους. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,11 σε -0,32, -0,46 και -0,21 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.16 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,81. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,30, όπως και σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας κυλιόμενης 8ωρης τιμής παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,45. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα, εκτός από την περίπτωση της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος παρατηρείται ότι μειώνουν τη συσχέτιση των εισαγωγών με το όζον. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,81 σε 0,53, 0,60 και 0,54 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,30 σε -0,29, -0,26 και -0,26 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης

δωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,45 σε 0,12 με την προσθήκη της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο υπόδειγμα, ενώ δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση για τις άλλες 2 κλιματικές παραμέτρους.

4.2.4.2.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.

Το όζον στερεί τους ιστούς από οξυγόνο, παρεμποδίζοντας τη σωστή μεταφορά του σε αυτούς (κατά παρόμοιο τρόπο με το μονοξείδιο του άνθρακα). Έχει άμεσες επιπτώσεις στο μεταβολισμό των χημικών ουσιών του εγκεφάλου, που είναι υπεύθυνες για τη μετάδοση σημάτων από το ένα νευρικό κύτταρο στο άλλο. Κύτταρα, τα οποία λαμβάνουν μέρος στην πήξη του αίματος, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο όζον ελευθερώνοντας χημικές ουσίες, όπως η σεροτονίνη, κατά την έκθεση του οργανισμού στο ρύπο. Έχουν διαπιστωθεί επίσης και σημαντικές αλλοιώσεις των αιμοσφαιρίων, όπως και διασπάσεις των ανθρώπινων χρωμοσωμάτων. Επιπροσθέτως, το όζον προκαλεί μείωση της κανονικής λειτουργίας του πνεύμονα, μεταβολές στον όγκο και στη ροή του αέρα, όπως αύξηση της αντίστασης των αεραγωγών του αναπνευστικού συστήματος. Ο ερεθισμός των πνευμονικών ιστών μπορεί να επιφέρει αλλοιώσεις στην καρδιαγγειακή λειτουργία, ή υποκίνηση παρασυμπαθητικών λειτουργιών (βλέπε κεφ. 2.2.1.8).

Το όζον στην τροπόσφαιρα είναι αποτέλεσμα μιας αλυσίδας φωτοχημικών αντιδράσεων ανάμεσα στις πρόδρομες ουσίες που είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό του (όπως ελεύθερες ρίζες, πτητικές οργανικές ενώσεις, υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου), υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Η καφέ-κίτρινη απόχρωση στην ατμόσφαιρα των Μεσογειακών πόλεων οφείλεται στη φωτοχημική αιθαλομίχλη, η οποία περιλαμβάνει όλες τις πρόδρομες ουσίες που ευθύνονται για τον σχηματισμό του όζοντος. Η κυριότερη πηγή εκπομπής τους, τη θερινή περίοδο, είναι η οδική κυκλοφορία μέσα από τις καύσεις των κινητήρων (NO_x) όπως και εξαιτίας των κακό-συντηρημένων καταλυτών (υδρογονάνθρακες) (βλέπε κεφ. 1.3.2.5).

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι το όζον, ως δευτερογενής φωτοχημικός ρύπος της τροπόσφαιρας, μπορεί να γίνει ιδιαίτερα επικίνδυνος για το γυναικείο πληθυσμό της Αθήνας λόγω της συσχέτισης του με την πρόκληση οξέων καρδιαγγειακών επεισοδίων. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στις υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπου ο ρύπος απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα της πόλης. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά 10 μg/m³ εμφανίζεται αντίστοιχα μια αύξηση των εισαγωγών των γυναικών κατά 0,81. Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε να διπλασιαστεί, ή ακόμα και να τριπλασιαστεί, με βάση τις σημαντικές καθημερινές διακυμάνσεις του ρύπου στην πόλη της Αθήνας. Ο ανδρικός πληθυσμός, αντίθετα με το γυναικείο, εμφανίζεται λιγότερο ευαίσθητος στον συγκεκριμένο ρύπο. Παρατηρώντας τις μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του όζοντος (βλέπε διαγράμματα 4.4, 4.5, 4.6) διαπιστώνεται ότι είναι σημαντικά μεγαλύτερες την καλοκαιρινή περίοδο.

Το γεγονός αυτό επίσης οφείλεται, είτε στην παρατεταμένη έκθεση των πολιτών στους ρύπους του εξωτερικού περιβάλλοντος, λόγω των ευνοϊκών καιρικών συνθηκών, είτε στον συνεχή εξαερισμό των κατοικιών με συνέπεια την αύξηση της

συγκέντρωσης τους και στο εσωτερικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, μετά από τη διερεύνηση της επίδρασης κλιματικών παραγόντων και της συγκέντρωσης του όζοντος στη θνησιμότητα πολιτών του Βελγίου (Saprot *et al.*, 1995) παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση για την κατηγορία των ηλικιωμένων πολιτών. Στη συγκεκριμένη έρευνα και επειδή οι περισσότερες κατοικίες και νοσοκομεία δεν ήταν εφοδιασμένα με συστήματα κλιματισμού, ο μόνος τρόπος εξαερισμού των κλειστών χώρων ήταν η εναλλαγή εξωτερικού και εσωτερικού αέρα, με αποτέλεσμα τη διαρκή εισβολή των ρύπων στους εσωτερικούς χώρους. Σε μια άλλη μελέτη διερεύνησης της συσχέτισης ανάμεσα στον αριθμό κλήσεων για επείγοντα περιστατικά και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για την πόλη του Παρισιού (Medina *et al.*, 1997), παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση με το τροποσφαιρικό όζον, όταν σε μια αύξηση, μετά τη θερινή περίοδο της 8ωρης συγκέντρωσης του κατά $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ εμφανίστηκε μια αντίστοιχη αύξηση στον κίνδυνο πρόκλησης εμφράγματος του μυοκαρδίου κατά 1,63 (RR). Σε μια άλλη έρευνα, η οποία περιλάμβανε τις 20 πολυπληθέστερες πόλεις των Η.Π.Α. (Samet *et al.*, 2000), έγινε διερεύνηση της συσχέτισης του όζοντος με την ανθρώπινη θνησιμότητα και παρατηρήθηκε μια αύξηση στη θνησιμότητα κατά 0,41% σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (μόνο για τους τρεις μήνες της καλοκαιρινής περιόδου).

Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα της Αθήνας, κατά τη θερινή περίοδο, επηρεάζεται πολύ από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Με ποσοστό πάνω από 30%, στο σύνολο των ημερών της άνοιξης και του καλοκαιριού, να παρουσιάζονται τοπικά συστήματα κυκλοφορίας αερίων μαζών, οι κλιματικές συνθήκες της πόλης γίνονται ιδανικές για τη συσσώρευση φωτοχημικών ρύπων. Παράλληλα, την περίοδο αυτή παρατηρείται (βλέπε διάγραμμα 4.11, 4.12) μια σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα, με το οποίο έχει την τάση να αντιδρά και να μετασχηματίζεται σε διοξείδιο του αζώτου. Επίσης, η έντονη ηλιακή ακτινοβολία επιταχύνει τη φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου σε μονοξείδιο του αζώτου και ατομικό οξυγόνο, με αποτέλεσμα να αυξάνονται ο αριθμός των ριζών στην ατμόσφαιρα, με τις οποίες ενώνεται το ελεύθερο οξυγόνο και σχηματίζουν το όζον. Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος σε ημέρες με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση και ηλιοφάνεια, εμφανίζονται στην περιφέρεια της μεγαλόπολης, στην οποία υπάρχουν ή μεταφέρονται οι πρόδρομες ουσίες (υδρ/κες, οξείδια του αζώτου) από την πηγή εκπομπής τους και ο σχηματισμός του όζοντος έχει μικρότερο ανταγωνισμό από πρωτογενείς ρύπους, σε αντίθεση με το πυκνοκατοικημένο κέντρο. Παράλληλα, μια υψηλή εμφάνιση της συγκέντρωσης του όζοντος στο κέντρο της πόλης είναι σημάδι καλού αερισμού και διασκορπισμού των πρωτογενών ρύπων (Gryparis *et al.*, 2004).

Το όζον κατά τη θερινή περίοδο, όπως διαπιστώνεται μέσα από παρόμοιες έρευνες, έχει την τάση να εμφανίζει υψηλά επίπεδα σε πόλεις της νότιας Ευρώπης, διότι εκεί επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια, συνθήκες ιδανικές για το σχηματισμό του. Σε μια μελέτη διερεύνησης της επίδρασης του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία σε 23 πόλεις της Ευρώπης (Gryparis *et al.*, 2004), παρατηρήθηκε ότι μια αύξηση της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τη θερινή περίοδο, επέφερε μια αντίστοιχη αύξηση της συνολικής θνησιμότητας κατά 0,33 %, των καρδιαγγειακών επεισοδίων κατά 0,49% και των αναπνευστικών επεισοδίων κατά 1,08%. Αντίθετα, την περίοδο του χειμώνα, όπου οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις στις περισσότερες πόλεις της μελέτης εμφανίζονται μειωμένες, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε καμιά από τις περιπτώσεις. Η

γεωγραφική κατανομή της επίδρασης του ρύπου εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις και είναι μεγαλύτερη για τις πόλεις της Νότιας Ευρώπης (0,90%) σε σύγκριση με της Βορειοδυτικής (0,54%) και Κεντροανατολικής Ευρώπης (0,19%).

4.2.4.3 Οξείδια του αζώτου (NO_x).

4.2.4.3.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων μονοξειδίου του αζώτου (NO).

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.3 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,60. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,16. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν θετικά (αλλά στατιστικά σημαντικά μόνο για την περίπτωση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου) στη συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του αζώτου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,60 σε 0,89, 0,80 και 0,89 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,16 σε 0,20, 0,18 και 0,20 με την παρουσία της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.10 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,36. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,06. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα δεν παρατηρείται να επιδρούν σημαντικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του αζώτου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,36 σε 0,43, 0,40 και 0,45 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή μετά την προσθήκη των κλιματικών παραμέτρων στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.17 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από

1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μι αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,45. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μικρή μείωση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,03. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το μονοξείδιο του αζώτου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,45 σε 0,05, 0,12 και 0,07 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από -0,03 σε -0,13, -0,13 και -0,14 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

4.2.4.3.2 Αποτελέσματα συσχετίσεων διοξειδίου του αζώτου (NO_2).

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.4 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,92. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,42. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν ελαφρώς θετικά, αλλά όχι στατιστικά σημαντικά, στη συσχέτιση των εισαγωγών με το διοξείδιο του αζώτου και ιδιαίτερα η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,92 σε 1,09, 0,99 και 1,18 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,42 σε 0,56, 0,53 και 0,60 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.11 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,47. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,22. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των

εισαγωγών με το διοξείδιο του αζώτου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,47 σε 0,26, 0,22 και 0,32 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,22 σε 0,13, 0,11 και 0,16 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.18 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,22. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το διοξείδιο του αζώτου. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση, ενώ όταν λαμβάνονται υπόψη κλιματικοί παράμετροι παρατηρούνται αρνητικές επιδράσεις στις εισαγωγές (-1,01, -1,01 και -1,04 αντίστοιχα για τη μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία). Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,22 σε -0,55, -0,56 και -0,55 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

4.2.4.3.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι ένα σχετικά αδρανές και μετρίως τοξικό αέριο. Παράγεται από την απευθείας αντίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου και του αζώτου σε υψηλή θερμοκρασία και βαθμιαία οξειδώνεται σε διοξείδιο του αζώτου. Το διοξείδιο του αζώτου είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο και προσβάλλει τα μάτια, το βρογχικό σύστημα, όπως και το ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα στα οποία, εξαιτίας της διαλυτότητας του στο νερό, φτάνει με χαρακτηριστική ευκολία. Στους πνεύμονες προκαλεί καταστροφή αντιδρώντας με τους ιστούς και δημιουργώντας ερεθισμούς κυρίως τα άκρα των βρόγχων και των κυψελίδων, όπως και καταστρέφοντας τα μαστίγια των κυττάρων. Έχει παρατηρηθεί μια αυξημένη ποσότητα αντισωμάτων του πνευμονικού ιστού στο αίμα, μετά από μια εκτεταμένη έκθεση στον ρύπο, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο πνευμονικός ιστός αλλοιώνεται και το σώμα τον μεταχειρίζεται ως ξένη ουσία. Κατά την έκθεση του ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου προκαλείται πνευμονικό οίδημα στην αποφρακτική κυψελίδα, εξαιτίας της ινώδους καταστροφής των περιφερειακών βρογχολίων. Όταν το NO_2 έλθει σε επαφή με την υγρασία, είτε στον αέρα είτε μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό, σχηματίζεται το εξαιρετικά διαβρωτικό νιτρικό οξύ (HNO_3) (βλέπε κεφ. 2.2.1.7).

Οι διακυμάνσεις των οξειδίων του αζώτου εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, τα μετεωρολογικά φαινόμενα και τον όγκο της κυκλοφορίας οχημάτων. Πριν από την ανατολή του ηλίου, οι συγκεντρώσεις τους παραμένουν σε σχετικά χαμηλά και σταθερά επίπεδα, ενώ αργότερα αυξάνεται η συγκέντρωση του μονοξειδίου του αζώτου. Πριν από το μεσημέρι αυξάνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου, το οποίο έχει πάντα μια χρονική καθυστέρηση κατά τον σχηματισμό του. Σε πυκνοκατοικημένες πόλεις, όπως της Αθήνας, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου μπορεί να είναι και 1000 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που παρατηρούνται στην ύπαιθρο. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου (βλέπε διαγράμματα 4.13 και 4.14) δεν δείχνουν κάποια ιδιαίτερη εποχιακή προτίμηση, με εξαίρεση τη σημαντική πτώση που παρατηρείται το μήνα Αύγουστο, στον οποίο μειώνονται σημαντικά όλες οι βασικές πηγές εκπομπής των πρωτογενών ρύπων που ευθύνονται για τον σχηματισμό του. Αντίθετα, την περίοδο του χειμώνα, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις συγκεντρώσεις του ρύπου εξαιτίας των πολυάριθμων πηγών εκπομπής των προδρόμων ουσιών του και τον συνδυασμό με τις κακές συνθήκες αερισμού και διασκορπισμού τους (βλέπε κεφ. 1.3.2.4).

Η συσχέτιση του μονοξειδίου του αζώτου με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες (βλέπε διαγράμματα 4.11, 4.12) εξηγείται από το γεγονός ότι η παρουσία του στην ατμόσφαιρα ευνοείται από την αύξηση των εστιών καύσης, κάτι που συμβαίνει ιδιαίτερα στα τέλη του φθινοπώρου στην Αθήνα. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό της πυκνής οδικής κυκλοφορίας και της λειτουργίας κεντρικών μονάδων θέρμανσης. Συγχρόνως, εξαιτίας της περιορισμένης ηλιοφάνειας στην Αθήνα την περίοδο αυτή και των χαμηλών συγκεντρώσεων του όζοντος, το μονοξείδιο του αζώτου παραμένει σε υψηλές συγκεντρώσεις διότι δεν εμπλέκεται σε αντιδράσεις μαζί του. Αντίθετα, την περίοδο του καλοκαιριού, όπου αυξάνονται σημαντικά οι συγκεντρώσεις του όζοντος και των φωτοχημικών αντιδράσεων του εξαιτίας της άφθονης ηλιοφάνειας, το μονοξείδιο του αζώτου παρουσιάζει μια πτωτική τάση, διότι αντιδρά μαζί του και μετασχηματίζεται σε διοξείδιο του αζώτου και οξυγόνο.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι το διοξείδιο του αζώτου, σε σύγκριση με το μονοξείδιο, είναι πιο βλαβερό για την ανθρώπινη υγεία. Παρουσιάζει, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις στατιστική συσχέτιση με τις εισαγωγές στα νοσοκομεία και διπλάσια επίδραση από ότι το μονοξείδιο του αζώτου. Σε ανάλογες έρευνες, όπως για την πόλη της Τεχεράνης (Hosseini *et al.*, 2005), όπου πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της επίδρασης της αύξησης της ημερήσιας συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, εμφανίζεται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,10. Σε μια άλλη έρευνα, για μια κατηγορία ηλικιωμένων πολιτών της πόλης Τουςόν στην Αριζόνα των Η.Π.Α. (Schwartz *et al.*, 1997) παρατηρήθηκε ότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ προκαλείται αύξηση στη θνησιμότητα αντίστοιχα κατά 0,69%. Σε μια μελέτη για τη πόλη της Βαλένθιας (Ballester *et al.*, 2000) πραγματοποιήθηκε μια διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στην ατμοσφαιρική ρύπανση και τις εισαγωγές στα νοσοκομεία, όπου σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, εμφανίστηκε μια αντίστοιχη αύξηση των εισαγωγών από εγκεφαλικά επεισόδια κατά 3,6%.

Οι κλιματικές συνθήκες δεν δείχνουν να επηρεάζουν σημαντικά τις συσχετίσεις του διοξειδίου του αζώτου με τον αριθμό των εισαγωγών εκτός από τις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος που τις μεταβάλλουν ελαφρώς, κάτι που εξηγείται από

τη διακύμανση των μέσων συγκεντρώσεων ρύπων, οι οποίες είναι ελαφρώς αυξημένες κατά τη χειμερινή περίοδο αλλά και από τις πιθανές επιπτώσεις του ψύχους στο κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου, την περίοδο αυτή. Αντίθετα, σε μια άλλη διερεύνηση της επίδρασης του διοξειδίου του αζώτου στην πρόκληση καρδιαγγειακών επεισοδίων για τη πόλη της Αθήνας (Pantazopoulou *et al.*, 1995) και ενώ καταμετρήθηκαν όλες οι έκτακτες εισαγωγές στα μεγάλα νοσοκομεία της πόλης, όπως και οι κλήσεις για προσφορά επείγουσας εξωτερικής βοήθειας στις κατοικίες των ασθενών, βρέθηκε μια πολύ θετική συσχέτιση (κατά 11,2) ανάμεσα στην αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου και στις εισαγωγές κατά τη χειμερινή περίοδο (1/1-21/3 και 22/9-31/12) και μια αρνητική συσχέτιση (κατά -0,06) κατά τη θερινή περίοδο (22/3-21/9).

Γενικότερα, στην παρούσα εργασία οι επιδράσεις του διοξειδίου του αζώτου στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου παραμένουν σταθερές στη διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, όπως και οι συγκεντρώσεις του ρύπου σε όλη τις εποχές της μελέτης. Στην περίπτωση εξέτασης χωριστά των δυο φύλων διαπιστώνεται ότι ο ανδρικός πληθυσμός είναι πιο ευαίσθητος στις υψηλότερες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου. Αντίθετα, ο γυναικείος πληθυσμός μόνο στο μονοξείδιο του αζώτου εμφανίζεται ευάλωτος, έστω και σε μικρό βαθμό, ενώ δεν επηρεάζεται καθόλου από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, κατά την εποχή της άνοιξης, του καλοκαιριού και στις αρχές του φθινοπώρου, οι εισαγωγές σχετίζονται ελαφρώς θετικά, κάτι που ερμηνεύεται από την πολύωρη έκθεση των πολιτών στον ρύπο εντός και εκτός των κατοικιών τους.

4.2.4.4 Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} , $PM_{2.5}$).

4.2.4.4.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}).

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.5 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 1,07. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,22. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν ελαφρώς θετικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια και ιδιαίτερα η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 1,07 σε 1,37, 1,33 και 1,40 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,22 σε 0,26, 0,25 και 0,28 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.12 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,54. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,14. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν ελαφρώς αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}). Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,54 σε 0,38, 0,31 και 0,48 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μικρή μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,14 σε 0,11 με την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ οι άλλες δυο κλιματικοί παράμετροι δεν έχουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.19 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,19. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,06. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}). Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,19 σε -0,70, -0,71 και -0,68 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,06 σε -0,21, -0,22 και -0,21 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

4.2.4.4.2 Αποτελέσματα συσχετίσεων αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$).

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.6 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 1.06. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου

παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0.20. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν θετικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$) και ιδιαίτερα η μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 1,06 σε 1,36, 1,41 και 1,34 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,20 σε 0,24, 0,24 και 0,24 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.13 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ δεν παρατηρείται συσχέτιση με τον αριθμό των εισαγωγών. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,01. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή στην συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$). Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,01 σε -0,02 με την προσθήκη της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο υπόδειγμα, ενώ με τις υπόλοιπες κλιματικές παράμετροι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.20 περιλαμβάνονται οι συντελεστές παλινδρόμησης των εισαγωγών των γυναικών σε νοσοκομεία της Αθήνας από οξέα στεφανιαία σύνδρομα (Ο.Σ.Σ.), για τη χρονική περίοδο 01/01/2001 έως 31/08/2002 με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρείται μια ελάχιστη αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 0,22. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις εισαγωγές κατά 0.02. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται αρνητική επίδραση στη συσχέτιση των εισαγωγών με τα αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$). Κατά την εξέταση της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου, παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,22 σε -0,41, -0,40 και -0,39 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης στις εισαγωγές, της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από 0,02 σε -0,13, -0,13 και -0,12 με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

4.2.4.4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και σύγκριση με ανάλογες έρευνες.

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματική απόθεση τους στο πνευμονικό σύστημα του ανθρώπου, όπως και η προέλευση τους, για τον βαθμό επίδρασης τους σε αυτόν. Σε αστικοποιημένα περιβάλλοντα και στην κατηγορία μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων από 2,5 έως και 10 μm (PM_{10}) περιλαμβάνονται κατά κύριο λόγο τα σωματίδια τύπου κρυστάλλου, τα οποία μπορεί να προέρχονται από τη γεωργία, τις κατασκευές, τις εξορύξεις μέσω μηχανικών αιτιών ή τριβής, από την οδική κυκλοφορία μέσω εκπομπών των οχημάτων, από την σκόνη του δρόμου ή το εδαφικό χώμα, όπως και από βιολογικής προέλευσης πηγές (γύρη, μύκητες). Στην κατηγορία μεγέθους των σωματιδίων από 0,1 έως και 2,5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται αποκλειστικά από πηγές καύσης άνθρακα, ξυλείας, υγρών καυσίμων άλλα και κονιοποίησης μεγαλύτερων σωματιδίων (PM_{10}), τα οποία επικάθισαν στην επιφάνεια του εδάφους. Σε μια έρευνα της επίδρασης των αιωρούμενων σωματιδίων ($\text{PM}_{2.5}$), για 6 πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών (Laden *et al.*, 2000), έγινε προσπάθεια διερεύνησης των πηγών προέλευσης των σωματιδίων με βάση τη χημική τους σύνθεση, όπως και των αντιστοίχων επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Τα αποτελέσματα συσχέτισης της ανθρώπινης θνησιμότητας με μια αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων μολύβδου (Pb: δείκτης προέλευσης από κινητές πηγές) κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δείχνουν μια στατιστικά σημαντική σχέση, εμφανίζοντας μια μέση αύξηση της θνησιμότητας στο σύνολο των πόλεων κατά 3.4%. Επίσης βρέθηκε μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση για τα σωματίδια του άνθρακα (Se: σελήνιο, δείκτης προέλευσης σταθερών πηγών καύσης), τα οποία προκαλούν μια μέση τιμή αύξησης της θνησιμότητας στο σύνολο των πόλεων, κατά 1,1%. Δεν βρέθηκε καμία στατιστική συσχέτιση με τα σωματίδια κρυστάλλων, γεγονός που υποδεικνύει ότι η κατηγορία αυτή (μηχανικής προέλευσης, κονιοποίησης μεγαλύτερων σωματιδίων, τριβής κ.α.) δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία, σε αντίθεση με τα σωματίδια τα οποία προέρχονται από διεργασίες καύσης (Laden *et al.*, 2000).

Τα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθος τους μπορούν να εισέρχονται μέχρι τη ρινική και τραχειοβρογχική κοιλότητα, κάποιους πρώτους βρόχους του πνεύμονα, όπως και μέχρι τις πνευμονικές κυψελίδες των πνευμόνων. Μερικά από τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$), τα οποία φτάνουν μέχρι τους πνεύμονες, είναι πολύ πιθανό να μεταφέρουν διαλυμένα μέταλλα υψηλής τοξικότητας υπό τη μορφή σκόνης ή σύνθετων μορίων (V, Ni, Cu, Fe, Zn). Οι επιδράσεις των σωματιδιακών ρύπων μικρότερου μεγέθους ($\text{PM}_{2.5}$) είναι άμεσες, διότι καταφέρνουν να διαπερνούν τον πνευμονικό επιθηλιακό ιστό και να εισέρχονται απευθείας στο κυκλοφορικό σύστημα του οργανισμού. Αποτέλεσμα είναι η μεταβολή της σύστασης του αίματος, καθώς το ήπαρ αυξάνει την παραγωγή ινωδογόνου που είναι βασικός παράγοντας ρύθμισης του ιξώδους του αίματος. Η παρουσία του είναι καταλυτική, τόσο για το ιξώδους του αίματος όσο και για τον κίνδυνο θρόμβωσης των αιμοπεταλίων, σε τέτοιο βαθμό που τα ανιχνευόμενα επίπεδα του, μαζί με την ηλικία του ασθενή, είναι οι σημαντικότερες ενδείξεις της σοβαρότητας μιας κατάστασης, για τέτοιου τύπου ασθένειες. Η παρουσία σωματιδιακών ρύπων στους κυψελοειδείς μακροφάγους μπορεί να οδηγήσει σε ερεθιστικές αντιδράσεις των πνευμόνων στους ενήλικες. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι έκθεση μιας μόνο ώρας σε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων οδηγεί σε μεταβολές στη λειτουργία των πνευμόνων, με συνέπεια τη διέγερση του νωτιαίου μυελού των οστών και την παραγωγή κυτοκινών IL-6. Αυτές είναι άμεσα υπεύθυνες για την απελευθέρωση στο αίμα ασχημάτιστων

πολυμορφοπυρηνικών λευκοκυττάρων (PMNs), T και B λεμφοκυττάρων όπως και άλλων ερεθιστικών παραγόντων και ερεθισμένων κυττάρων (βλέπε κεφ. 2.2.1.5).

Μια άλλη άμεση συνέπεια της εισροής των ρύπων στο κυκλοφορικό σύστημα είναι αυτή της αλλοίωσης του αυτόνομου τόνου της καρδιάς με αποτέλεσμα την πρόκληση αρρυθμιών της καρδιάς. Οι άμεσες αυτές δυσμενείς επιδράσεις της ατμοσφαιρικής σωματιδιακής ρύπανσης στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου δικαιολογούν εμφάνιση φαινομένων μέσα σε χρονικό διάστημα λίγων ωρών, όπως το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου. Οι έμμεσες επιδράσεις, οι οποίες πρόκειται να εμφανιστούν μετά από αρκετές ώρες έως και ημέρες, προέρχονται περισσότερο από ατμοσφαιρικούς αέριους ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους, τα οποία κατά την εισπνοή τους φτάνουν και επικάθονται μέχρι τον κυψελιδικό ιστό των πνευμόνων, χωρίς να τον ξεπερνούν, προκαλώντας σε αυτόν συστηματικό ερεθισμό. Πιθανή συνέπεια είναι η δραστηριοποίηση αιμοστατικών καταστάσεων, ενδοθηλιακών δυσλειτουργιών και η εξασθένηση της καρδιαγγειακής λειτουργίας με απώτερες συνέπειες την επιτάχυνση της αρτηριοσκλήρυνσης και ρήξης της καρδιαγγειακής πλάκας. Στη συνέχεια επέρχεται θρόμβωση και οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, εάν δεν έχουν συμβεί σε κάποιο προηγούμενο στάδιο (βλέπε κεφ. 2.2.1.5).

Μια μελέτη των βραχυχρόνιων επιδράσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στις εισαγωγές των νοσοκομείων από καρδιαγγειακά επεισόδια, για την πόλη του Χονγκ Κονγκ (Wong *et al.*, 1999), έδειξε ότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρήθηκε μια αντίστοιχη αύξηση του σχετικού κινδύνου εισαγωγής στα νοσοκομεία κατά 1,006 (RR). Σε μια παρόμοια μελέτη, για τη πόλη της Ρώμης (D'Ippoliti *et al.*, 2003), παρατηρήθηκε μια σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) και στις εισαγωγές ασθενών από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, όταν σε μια αύξηση κατά $10 \mu g/m^3$ της συγκέντρωσης των σωματιδίων παρατηρήθηκε μια αντίστοιχη αύξηση του σχετικού κινδύνου εισαγωγών κατά 1,028 (RR). Στις πιο ηλικιωμένες πληθυσμιακές ομάδες, άνω των 74 ετών και για τις θερμότερες ημέρες της περιόδου της έρευνας, ο σχετικός κίνδυνος ανήλθε στο 1,046 (RR), ενώ αντίστοιχα σε περιπτώσεις ηλικιωμένων με προβλήματα αρρυθμίας, ανήλθε στο 1,080 (RR).

Σε μια αντίστοιχη έρευνα συσχέτισης των εισαγωγών ασθενών από ασταθή στηθάγχη (Hosseinpoor *et al.*, 2005) με μια αύξηση της μέγιστης 8ωρης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) κατά $10 \mu g/m^3$ παρατηρήθηκε μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 2,69%. Σε μια άλλη εργασία, για 8 πόλεις της Ευρώπης (Tetre *et al.*, 2002), έγινε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και των εισαγωγών στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια. Συγχωνευμένες εκτιμήσεις από όλες τις πόλεις μαζί εμφανίζουν μια αύξηση κατά 0,5% των εισαγωγών εξαιτίας καρδιαγγειακών επεισοδίων, ανεξάρτητα από την ηλικιακή ομάδα, μια αύξηση κατά 0,7% των εισαγωγών των ηλικιωμένων πολιτών (>65) και μια μηδενική συσχέτιση για τα εγκεφαλικά επεισόδια.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας και των δύο μεγεθών έχουν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία των πολιτών της Αθήνας. Στο υπόδειγμα συσχέτισης των επιδράσεων των ρύπων με τον αριθμό των εισαγωγών στα νοσοκομεία από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο οι συνέπειες της έκθεσης των πολιτών σε υψηλότερα επίπεδα

σωματιδίων είναι μεγάλες ενώ η προσθήκη κλιματικών παραγόντων δεν τις μεταβάλλει. Παράλληλα, παρατηρώντας την συμπεριφορά των συγκεντρώσεων των αιρούμενων σωματιδίων (βλέπε διαγράμματα 4.7, 4.8, 4.9 και 4.10) διαπιστώνεται ότι δεν εμφανίζονται ιδιαίτερες εποχικές διακυμάνσεις. Οι επιδράσεις των μεγαλύτερων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) της έρευνας δείχνουν να ενισχύονται ελαφρώς στις χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενώ των μικρότερων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) δείχνουν να ενισχύονται ελαφρώς στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Συνολικά, η επίδραση τους στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου είναι περίπου ίδια. Στην περίπτωση που εξετάζεται το κάθε φύλο χωριστά, το ανδρικό δείχνει να είναι περισσότερο ευάλωτο στα μεγαλύτερα σωματίδια και τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ το γυναικείο φύλο δείχνει να είναι περισσότερο ευάλωτο στα μικρότερα σωματίδια και ανεπηρέαστο από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Η συνεισφορά των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, παρόλο που στην πόλη της Αθήνας η ιδιωτική τους χρήση είναι απαγορευμένη, ξεπερνάει το 50% στην παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων στη ατμόσφαιρα της πόλης, τα οποία προέρχεται από τα ταξί και τις κατηγορίες ελαφρών και βαρέων φορτηγών και λεωφορείων. Τη χειμερινή περίοδο προσθέτονται στην πόλη της Αθήνας μια σειρά από νέες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων, όπως είναι οι σταθερές εκπομπές των κεντρικών μονάδων θέρμανσης των κατοικιών, οι οποίες κυρίως καταναλώνουν πετρέλαιο θέρμανσης. Σε μια συνολικότερη προσέγγιση, η επίδραση των κλιματικών παραμέτρων δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική, κάτι που δικαιολογείται και από τη σταθερότητα των συγκεντρώσεων των σωματιδίων σε όλες τις εποχές της εξεταζόμενης περιόδου. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε μια αντίστοιχη έρευνα για τη πόλη του Ντιτρόιτ (Schwartz *et al.*, 1995) στην οποία περιλαμβάνονται μόνο ηλικιωμένοι πολίτες (άνω των 65 ετών). Έτσι, παρατηρήθηκε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}) συσχετίζονται με τις εισαγωγές στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια. Σε μια αύξηση της συγκέντρωσης τους κατά $32 \mu g/m^3$ και παρά την προσθήκη κλιματικών παραμέτρων στο στατιστικό μοντέλο, εμφανίστηκε μια αντίστοιχη αύξηση του κινδύνου πρόκλησης θνησιμότητας κατά 1,8%. Αντίθετα, χωρίς την παρεμβολή των κλιματικών παραμέτρων και σε μια αύξηση της συγκέντρωσης μόλις κατά $10 \mu g/m^3$, ο κίνδυνος θνησιμότητας ανήλθε στο 2,4%. Οι ίδιοι ερευνητές, το έτος 1999 και σε μια νέα μελέτη για ηλικιωμένους πολίτες σε 8 πόλεις των Η.Π.Α. (Schwartz *et al.*, 1999), παρατήρησαν ότι σε μια αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων της τάξεως των $25 \mu g/m^3$ εμφανίζεται μια αντίστοιχη αύξηση των εισαγωγών κατά 2,48%, όπως και ότι το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ανεξάρτητο από τοπικές κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής. Σε μια παρόμοια μελέτη για την πόλη του Σάο Πάολο της Βραζιλίας (Lin *et al.*, 2003), έγινε διερεύνηση της συσχέτισης ανάμεσα στις εισαγωγές από καρδιαγγειακά επεισόδια και τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία εμφάνισαν υψηλό βαθμό ανεξαρτησίας με τις καιρικές παραμέτρους και συγκεκριμένα με την ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (PM_{10} : -0,028).

Η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων και ιδιαίτερα των μικρότερων μεγεθών τους ($PM_{2.5}$), ενισχύεται ελαφρώς στις υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε μια παρόμοια διερεύνηση της συσχέτισης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) με την ανθρώπινη θνησιμότητα (Samoli *et al.*, 2005) και για 22 Ευρωπαϊκές πόλεις, εμφανίζεται μια αύξηση συνολικά της θνησιμότητας κατά 0,4%, σε μια αντίστοιχη μεταβολή της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης των σωματιδίων από 50 σε $60 \mu g/m^3$, όπως και μια αύξηση της θνησιμότητας κατά 0,5% εξαιτίας αναπνευστικών και

καρδιαγγειακών προβλημάτων. Σε μια σύγκριση των καμπυλών των διαγραμμάτων, ανά γεωγραφική περιοχή, εμφανίζονται ομοιότητες ανάμεσα στις πόλεις της δυτικής και νότιας Ευρώπης, με μια όμως πιο απότομη ανοδική κλίση για τις τελευταίες, ενώ οι πόλεις της ανατολικής Ευρώπης εμφανίζουν ηπιότερες κλίσεις. Η υψηλότερη τάση της θνησιμότητας των πολιτών στις πόλεις της νοτίου Ευρώπης, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες γεωγραφικές περιοχές, ερμηνεύεται από το γεγονός ότι στις θερμότερες Μεσογειακές χώρες, όπου επικρατούν ηπιότερες κλιματικές συνθήκες, οι πολίτες είναι διαρκώς εκτεθειμένοι σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, είτε στο εξωτερικό, είτε στο εσωτερικό περιβάλλον των κατοικιών τους. Παράλληλα, τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια έχουν, για τις θερμότερες περιόδους του έτους, σχεδόν αποκλειστική πηγή την οδική κυκλοφορία, μέσω της εκπομπής τους από μηχανές εσωτερικής καύσεως, όπου οι αντιδράσεις τους είναι εντονότερες εξαιτίας της υψηλής τοξικότητας τους.

4.2.4.5 Διοξείδιο του θείου (SO_2).

4.2.4.5.1 Αποτελέσματα συσχετίσεων του διοξειδίου του θείου (SO_2).

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.7 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών και γυναικών μαζί) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών κατά 1,60. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση στις εισαγωγές κατά 0,56. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι αυτοί επιδρούν αυξητικά και παρουσιάζοντας μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση των εισαγωγών με το διοξείδιο του θείου και ιδιαίτερα η μέση και η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατά την εξέταση της επίδρασης της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 1,60 σε 3,05, 2,81 και 3,07 στις εισαγωγές με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στην περίπτωση εξέτασης της επίδρασης της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,56 σε 0,85, 0,79 και 0,87 στις εισαγωγές, με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.14 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (ανδρών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Μια αύξηση της μέσης και μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι αυτού επιδρούν αυξητικά δημιουργώντας μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση των εισαγωγών με το διοξείδιο του θείου. Κατά την εξέταση της επίδρασης της 24ωρης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή συσχέτισης από 0,08 σε 0,50, 0,58 και 0,43 στις εισαγωγές με την προσθήκη της

μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου δεν παρατηρείται καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές, με ή χωρίς, τις κλιματικές παραμέτρους στο υπόδειγμα.

Στα αποτελέσματα του Πινάκα 4.21 περιλαμβάνονται οι συντελεστές συσχέτισης του αριθμού των εισαγωγών Αθηναίων πολιτών (γυναικών) σε νοσοκομεία της πόλης, εξαιτίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου (Ο.Σ.Σ.) και για τη χρονική περίοδο από 1/1/2001 έως 31/8/2002, με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα της πόλης, λαμβάνοντας υπόψη και κλιματικούς παράγοντες. Σε μια αύξηση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ παρατηρείται μια μείωση στον αριθμό των εισαγωγών κατά -0,62. Σε μια αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης του ρύπου δεν παρατηρείται καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές. Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα παρατηρείται ότι επιδρούν αρνητικά στη συσχέτιση των εισαγωγών με το διοξείδιο του θείου. Κατά την εξέταση της επίδρασης της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης από -0,62 σε -0,71, -1,10 και -0,85 στις εισαγωγές με την προσθήκη της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αντίστοιχα στο υπόδειγμα. Στη περίπτωση εξέτασης της επίδρασης της μέγιστης 24ωρης συγκέντρωσης του ρύπου παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική και αρνητική επίδραση στις εισαγωγές με την προσθήκη των κλιματικών παραμέτρων στο υπόδειγμα.

4.2.4.5.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων και συζήτηση με παρόμοιες έρευνες.

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο, άφλεκτο, και μη εκρηκτικό αέριο με θειώδη οσμή. Είναι σχετικά σταθερό στην ατμόσφαιρα και δρα, είτε ως αναγωγικό, είτε ως οξειδωτικό μέσο. Αντιδρά φωτοχημικά ή καταλυτικά με τα άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας και μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό τριοξειδίου του θείου (SO_3), όπως και σταγονιδίων ή αλάτων θεικού οξέος (H_2SO_4). Η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα μιας περιοχής αποτελεί και μέτρο του βαθμού ρύπανσης της. Στα μεγάλα αστικά κέντρα οι βασικότερες πηγές του είναι τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και οι μονάδες κεντρικής θέρμανσης (βλέπε κεφ. 1.3.2.3).

Είναι αέριο ευδιάλυτο στο νερό και απορροφάται με ευκολία από τη βλέννα των ρινικών κοιλοτήτων του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος. Σωματιδιακή ύλη, μεγέθους 2 έως 8 μm , η οποία παραμένει διασκορπισμένη στον αέρα, είναι αυτή που παγιδεύεται εύκολα στους πνεύμονες λαμβάνοντας το ρόλο του καταλύτη στην οξείδωση του διοξειδίου του θείου μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό και τη μετατροπή του σε σταγόνες θεικού οξέος. Οι πρώτες αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού μετά από εισπνοή αέρα που περιέχει μεγάλη συγκέντρωση διοξειδίου του θείου είναι έκκριση βλέννας και δημιουργία οιδήματος, τα οποία προκαλούν αντίσταση στην αναπνοή. Οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται ένα ελαφρύ σφίξιμο στη περιοχή του άνω αναπνευστικού συστήματος. Όταν σε μερικές περιπτώσεις εισπνέεται μαζί με σωματίδια σιδήρου, μαγγανίου και άλατα βαναδίου, τα οποία έχουν το ρόλο του καταλύτη, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι δυσμενέστερες. Το διοξείδιο του θείου, το θεικό οξύ και τα θεικά άλατα ερεθίζουν σοβαρά τη βλεννογόνο του αναπνευστικού συστήματος με αποτέλεσμα να ευνοείται η ανάπτυξη αναπνευστικών παθήσεων, όπως χρόνιας βρογχίτιδας και πνευμονικού εμφυσήματος.

Τα σωματίδια γίνονται ιδιαίτερα επικίνδυνα όταν παραλύουν τα τριχίδια των πνευμόνων που διευκολύνουν την αναπνοή, διότι χωρίς τη δράση τους μπορούν να διατηρήσουν τους πνεύμονες και να εγκατασταθούν εκεί (βλέπε κεφ. 2.2.1.6).

Με βάση αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι το διοξείδιο του θείου είναι ένας πρωτογενής βλαβερός ατμοσφαιρικός ρύπος για την ανθρώπινη υγεία, διότι μια μικρή μόνο αύξηση της συγκεντρώσεώς του, της τάξεως των 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, είναι ικανή να προκαλέσει μια σημαντική αύξηση των εισαγωγών από καρδιαγγειακά επεισόδια. Λαμβάνοντας υπόψη κλιματικές παραμέτρους στο στατιστικό υπόδειγμα, παρατηρείται ότι διπλασιάζεται η επίδραση του ρύπου. Έχει επίσης την τάση να συσχετίζεται περισσότερο με τις ελάχιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και παρατηρώντας τις μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του (βλέπε διαγράμματα 4.15, 4.16), διαπιστώνεται ότι αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερες την περίοδο του χειμώνα.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, οι οποίες παρατηρούνται τους χειμερινούς μήνες στην πόλη της Αθήνας, οφείλονται κυρίως στην καύση πετρελαίου θέρμανσης από τις κεντρικές μονάδες των κατοικιών αλλά και σε σημαντικό βαθμό στα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Οι σταθερές βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες λειτουργούν όλη την περίοδο του έτους, αποτελούν μια σημαντική πηγή καύσης χωρίς όμως να είναι υπεύθυνες για τις έντονες εποχιακές διακυμάνσεις του ρύπου. Οι σταθερές εστίες εκπομπής παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες ρύπων, ανά μονάδα σε διοξείδιο του θείου, σε σύγκριση με τις κινητές πηγές, διότι το πετρέλαιο θέρμανσης, το οποίο καταναλώνουν, έχει δεκαπλάσια περιεκτικότητα (3,000 ppm έναντι 350 ppm, κατά τη περίοδο της μελέτης) σε θείο από το πετρέλαιο κίνησης (βλέπε κεφ. 1.3.2.3).

Οι επιδράσεις του στην ανθρώπινη υγεία, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, είναι σημαντικές και έχουν συσχέτιση με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Σε μια παλαιότερη μελέτη, για την πόλη της Αθήνας (Touloumi *et al.*, 1994), παρατηρήθηκε μια αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας κατά 12%, σε μια αντίστοιχη αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου κατά 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μια μελέτη των βραχυχρόνιων επιδράσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων στις εισαγωγές από καρδιαγγειακά επεισόδια, για τη πόλη του Χονγκ Κονγκ (Wong *et al.*, 1999), έδειξε ότι σε μια αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, παρατηρήθηκε μια αντίστοιχη αύξηση του κινδύνου εισαγωγής στα νοσοκομεία κατά 1,016 (RR). Παράλληλα, παρατηρήθηκε μια αύξηση της επίδρασης του ρύπου, στην περίοδο του χειμώνα, όπως και στην κατηγορία των ασθενών υψηλού κινδύνου (>65).

Μια παρόμοια μελέτη για την Ολλανδία, (Mackenbach *et al.*, 1993) ασχολήθηκε με τη συσχέτιση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου και την ανθρώπινη θνησιμότητα. Παρά τις σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις του ρύπου στην ατμόσφαιρα παρατηρήθηκε μια αύξηση της θνησιμότητας κατά 0,11% σε κάθε 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξησης της συγκέντρωσης του ρύπου. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι τα ασφαλή όρια συγκεντρώσεων του ρύπου πρέπει να αναζητηθούν σε χαμηλότερα επίπεδα. Σημαντικότερος συγχυτικός παράγοντας της παραπάνω συσχέτισης αποδεικνύεται η ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για την Ολλανδία όμως είναι συχνό φαινόμενο ένα σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης να ακολουθεί μια μικρή χρονική περίοδο πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και αυτό εξηγείται από τις ευνοϊκές

συνθήκες για υψηλή κατανάλωση καυσίμων για τη θέρμανση των νοικοκυριών. Στη πόλη του Σάο Πάολο της Βραζιλίας (Sharovsky *et al.*, 2004) πραγματοποιήθηκε μια μελέτη συσχέτισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των κλιματικών παραμέτρων και της θνησιμότητας των πολιτών από οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου (Ο.Ε.Μ.). Παρατηρήθηκε μια γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην αύξηση της θνησιμότητας (με ποσοστό 3,4%) και τη συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα (κατά 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η Αθήνα, όπως και άλλες Μεσογειακές πόλεις, δεν διακρίνονται για δριμείς χειμώνες ερμηνεύεται και η εμφάνιση σημαντικής συσχέτισης του ρύπου με τις μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Παράλληλα, αυτό εξηγείται και λόγω της συνεργιστικής δράσης του SO_2 με τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία έχουν καθ'όλη την περίοδο του έτους υψηλές συγκεντρώσεις στη πόλη της Αθήνας και σχετίζονται με τις υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Κατά παρόμοιο τρόπο, μέσα από μια μελέτη για την πόλη της Βαλένθιας (Ballester *et al.*, 2000) όπου καταβλήθηκε προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης των κλιματικών παραγόντων, οι πρωτογενείς ρύποι (καπνός, CO , SO_2) εμφανίζουν μια προτίμηση στη θερμότερη περίοδο του έτους (με μια αύξηση του σχετικού κινδύνου κατά 1,050 (RR) για την περίπτωση του διοξειδίου του θείου). Τέλος ακραίες τιμές των θερμοκρασιών περιβάλλοντος, ελάχιστες και μέγιστες, δείχνουν να σχετίζονται με τη θνησιμότητα περισσότερο από τις μέσες, σε εφτά από τις μεγαλύτερες πόλεις της Κορέας (Lee *et al.*, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Η πόλη της Αθήνας.

Η πόλη της Αθήνας έχει μια ιδιαίτερη φυσιογραφία και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, όπως το κυκλοφοριακό πρόβλημα και κάποιες ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες της πόλης, δημιουργούνται τάσεις συσσώρευσης ατμοσφαιρικών ρύπων σε υψηλές και επικίνδυνες συγκεντρώσεις για τη δημόσια υγεία.

- Η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπέδιου της Αθήνας δυσχεραίνει σημαντικά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, τον αερισμό και τη διάχυση των ρύπων, με αποτέλεσμα οι ορεινοί όγκοι να λειτουργούν ως ένα τεράστιο θερμοκήπιο συγκρατώντας τους ρύπους εντός του.

- Τα σοβαρότερα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Αθήνας έχουν συμβεί κάτω από σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες την περίοδο του χειμώνα και του φθινοπώρου. Ασθενείς ή χαμηλής εντάσεως άνεμοι καταφέρνουν να διεισδύσουν στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα στρώμα πολύ λεπτού πάχους, του οποίου δεν διευκολύνεται ο αερισμός. Παράλληλα, δημιουργείται θερμοκρασιακή αναστροφή, η οποία δημιουργεί ένα ατμοσφαιρικό στρώμα στασιμότητας, όπου παύει κάθε κίνηση ανανέωσης του αέρα. Όταν εισέλθουν οι θερμές μάζες των ρύπων στην ατμόσφαιρα, ανέρχονται για λίγο, ψύχονται και συναντώντας στρώματα θερμότερα, σταματά η ανοδική τους πορεία. Η θερμοκρασιακή αναστροφή στο λεκανοπέδιο της Αττικής μπορεί να προέλθει είτε από τις επί τόπου κάθετες μεταφορές ζεστών αερίων μαζών ή από μεγαλύτερης κλίμακας μεταφορές που μπορεί να προέρχονται από την παρουσία ενός αντικυκλώνα κάπου στην περιοχή της Μεσογείου. Κατά την καλοκαιρινή περίοδο, τοπικά συστήματα κυκλοφορίας αερίων μαζών, που μπορούν να προέρχονται από τη θαλάσσια αύρα, εμφανίζονται σε ποσοστό περισσότερο από το 30% του συνόλου των ημερών της περιόδου αυτής. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την παρουσία φωτοχημικής ρύπανσης στην Αθήνα.

- Στην πόλη της Αθήνας και στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής έχει εγκατασταθεί περίπου το 40% του πληθυσμού και των σταθερών πηγών ολόκληρης της χώρας, όπως και το 50% των καταγεγραμμένων οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ελλιπές οδικό δίκτυο της πόλης, την κακή συντήρηση των καυστήρων, την ιδιόρρυθμη φυσιογραφία της περιοχής και τους ιδιαίτερους κλιματικούς παράγοντες, συνεισφέρει σημαντικά στο μεγάλο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής.

- Σημαντική ευθύνη για την ατμοσφαιρική ρύπανση της Αθήνας έχει το ανεπαρκές οδικό δίκτυο της πόλης που προκαλεί αύξηση των κυκλοφοριακών προβλημάτων και των εκπομπών από τα οχήματα. Το κεντρικό οδικό δίκτυο προς το αστικό κέντρο της πόλης περιορίζεται σε κάποιες λεωφόρους γύρω από δύο γειτονικές πλατειές, το Σύνταγμα και την Ομόνοια, δίνοντας ελάχιστες εναλλακτικές λύσεις στους οδηγούς κατά τη χρήση του. Στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο της πόλης επικρατεί κακή ρυμοτομία

με στενούς δρόμους και σημαντικές ελλείψεις χώρων στάθμευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση των παράνομων σταθμεύσεων.

- Στην Αθήνα σήμερα αναλογούν 400 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους και από τις συνολικές καθημερινές μετακινήσεις της πόλης το 38,4% γίνεται με ιδιωτικά αυτοκίνητα. Κάνοντας χρήση ενός ιδιωτικού αυτοκινήτου ως μεταφορικό μέσο, ένα μεταφερόμενο πρόσωπο καταλαμβάνει 20-40 φορές περισσότερο χώρο στο δρόμο σε σχέση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, καταλαμβάνοντας 25-40 τετραγωνικά μέτρα οδοστρώματος ανά επιβάτη ενώ για παράδειγμα στο λεωφορείο θα καταλάμβανε μόνο 2μ. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας ανά επιβάτη είναι 7 με 10 φορές περισσότερη από τα μέσα μαζικών μεταφορών, ενώ αντίστοιχη είναι η παραγωγή καυσαερίων, με αποτέλεσμα το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη να προέρχεται από ιδιωτικά οχήματα. Ενώ οι παρεχόμενες υπηρεσίες από τα μέσα μαζικής μεταφοράς έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια (λεωφορεία, τρόλεϊ, ηλεκτρικός σιδηρόδρομος, τραμ, μετρό, προαστιακός) το κυκλοφοριακό πρόβλημα της πρωτεύουσας παραμένει εξαιτίας της λανθασμένης νοοτροπίας του Έλληνα πολίτη ο οποίος εμμένει στην προτίμηση χρήσης ιδιωτικών μεταφορικών μέσων. Σε αυτή την παράμετρο συνεισφέρει σημαντικά και η έλλειψη περιφερειακών γραμμών στα Μ.Μ.Μ. που να συνδέουν περιφερειακές συνοικίες της Αθήνας μεταξύ τους χωρίς την αναγκαστική διάβαση από το κέντρο της πόλης (διαδημοτικές συγκοινωνίες). Η παράνομη στάθμευση είναι επίσης ικανή να μειώσει τη μεταφορική ικανότητα των δρόμων στα 2/3 με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικές καθυστερήσεις στους χρόνους διέλευσης των μέσων μαζικής μεταφοράς τους

5.2 Επίδραση ατμοσφαιρικών ρύπων.

Η επίδραση των ατμοσφαιρικών ρύπων στη δημόσια υγεία των πολιτών της Αθήνας, όπως διαφαίνεται μέσα από τα αποτελέσματα των στατιστικών συσχετίσεων, είναι σημαντική και ο ρόλος τους, στις περισσότερες περιπτώσεις, ανεξάρτητος από κλιματικούς παράγοντες. Ο αριθμός των εισαγωγών, από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο στα μεγαλύτερα νοσοκομεία της πόλης, είτε αυτό προέρχεται από έμφραγμα του μυοκαρδίου είτε από ασταθή στηθάγχη, αυξάνεται σημαντικά κατά την αύξηση της συγκέντρωσης των περισσότερων από τους πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύπους στην ατμόσφαιρα. Οι περισσότεροι από τους εξεταζόμενους ρύπους προέρχονται κυρίως από κινητές πηγές ρύπανσης, από την κατανάλωση υγρών καυσίμων των οχημάτων. Η επίδραση κλιματικών παραγόντων μεταβάλλει σημαντικά το αποτέλεσμα της συσχέτισης των ρύπων με τις εισαγωγές, σε λίγες μόνο περιπτώσεις (όπως με το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου). Υψηλές συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων σχετίζονται άμεσα με ακραία καιρικά φαινόμενα και κυρίως με χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, διότι αυξάνονται σημαντικά οι σταθερές εστίες εκπομπής ρύπων, όπως οι μονάδες κεντρικής θέρμανσης των κατοικιών. Παράλληλα, το καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού είναι ακόμη πιο ευαίσθητο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Στο γεγονός αυτό συμβάλλουν και κάποιες συνήθειες που έχουν αναπτύξει οι πολίτες της Αθήνας, αλλά και αντίστοιχων Μεσογειακών πόλεων, όπως είναι η έλλειψη ενός σωστού προστατευτικού εξοπλισμού απέναντι στο ψύχος, με συνέπεια να επιβαρύνεται επιπρόσθετα το καρδιαγγειακό τους σύστημα. Σε θερμότερες ημέρες, με πιο ήπιες κλιματικές συνθήκες, η έκθεση στους ατμοσφαιρικούς ρύπους στους πολίτες της Αθήνας είναι διαρκής, εντός και εκτός της κατοικίας τους, με αποτέλεσμα χαμηλά

επίπεδα, κάποιων ατμοσφαιρικών ρύπων, να επιδρούν σημαντικά στην ανθρώπινη υγεία. Μερικοί από τους εξεταζόμενους ρύπους (διοξειδίο του θείου, μονοξειδίο του άνθρακα διοξειδίο του αζώτου) εμφανίζουν σημαντικές επιδράσεις στην υγεία των Αθηναίων πολιτών χωρίς να έχουν παρουσιάσει, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, κάποια υπέρβαση των ενδεικτικών οριακών τιμών που θέτουν ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) και οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- Το μονοξειδίο του άνθρακα, ως προϊόν ατελούς καύσης ενώσεων του άνθρακα και έχοντας ως κύρια πηγή την οδική κυκλοφορία, βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στη ατμόσφαιρα της πόλης σε σύγκριση με όλους τους υπόλοιπους ρύπους. Στην πόλη της Αθήνας ο συγκεκριμένος ρύπος εμφανίζει μια πτωτική τάση τα τελευταία χρόνια αλλά με βάση τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας, όπως και της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, σχετίζεται σημαντικά με τις εισαγωγές στα νοσοκομεία από καρδιαγγειακά επεισόδια. Παρόλη την απουσία υπερβάσεων των οριακών τομών του ρύπου κατά τη περίοδο της μελέτης οι επιπτώσεις του είναι σημαντικές, γεγονός που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Οι κλιματικές μεταβολές και ιδιαίτερα οι χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος δείχνουν να επηρεάζουν θετικά τη συσχέτιση του μονοξειδίου του άνθρακα με τις εισαγωγές. Αυτό κυρίως οφείλεται στη συσχέτιση των υψηλών συγκεντρώσεων του ρύπου με τις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, εξαιτίας της αύξησης των εστίων ρύπανσης κατά τη χειμερινή περίοδο, όπως και της επίδρασης του ψύχους, σε συνδυασμό με το ρύπο, στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου.
- Το όζον στην τροπόσφαιρα είναι αποτέλεσμα μιας αλυσίδας φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ των προδρόμων στοιχείων και ουσιών σχηματισμού του ρύπου, (ελεύθερο οξυγόνο, πτητικές οργανικές ενώσεις και οξείδια του αζώτου), υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών θερμοκρασιών. Εμφανίζεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στην πόλη της Αθήνας και γενικά σε όλες τις Μεσογειακές πόλεις, κατά τη θερινή περίοδο, έχοντας ιδιαίτερη προτίμηση σε απόκεντρες και περιφερειακές συνοικίες. Η πορεία της συγκέντρωσης του, για τη πόλη της Αθήνας, δείχνει αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα να κατατάσσεται σε έναν από τους σοβαρότερους ρύπους της πόλης. Οι επιδράσεις του ρύπου αφορούν επιλεκτικά το γυναικείο πληθυσμό ενώ οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική συσχέτιση μαζί τους. Ιδανικές συνθήκες σχηματισμού του ρύπου δημιουργούνται σε ημέρες άπνοιας και έντονης ηλιοφάνειας. Κάποιες καθημερινές συνήθειες των πολιτών της Αθήνας, όπως καθημερινός πολύωρος αερισμός των κατοικιών τους, δίνουν τη δυνατότητα στο ρύπο να διεισδύει και στους εσωτερικούς χώρους των κατοικιών.
- Το διοξειδίο του αζώτου, το οποίο σχηματίζεται από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα, έχει σημαντικές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα του ανθρώπου. Υψηλότερες τιμές για τους δυο ρύπους εμφανίζονται στο κέντρο της πόλης, σε αντίθεση με το όζον. Οι επιπτώσεις τους δεν δείχνουν να επηρεάζονται σημαντικά από συγκεκριμένους κλιματικούς παράγοντες παρόλο που αυξάνονται στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα της πόλης δεν έχουν εποχικές διακυμάνσεις και

παρόλο που οι υπερβάσεις των ενδεικτικών τιμών στόχων των Ευρωπαϊκών Οδηγιών είναι ελάχιστες, υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

- Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματική τους απόθεση στο πνευμονικό σύστημα του ανθρώπου και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές εκπομπής τους. Η βασικότερη πηγή προέλευσης τους είναι η καύση πετρελαίου από σταθερές και κινητές πηγές για ολόκληρη την περίοδο του έτους. Οι υπερβάσεις των σωματιδίων είναι αρκετές ενώ οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα της πόλης δεν έχουν έντονες εποχικές διακυμάνσεις (για τα μεγαλύτερα σωματίδια PM_{10}). Οι κλιματικοί παράγοντες δεν δείχνουν να επηρεάζουν σημαντικά τις συσχετίσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τις εισαγωγές (παρόλο που δείχνουν μια μικρή προτίμηση στις χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος).
- Το διοξείδιο του θείου είναι ένας από τους βασικότερους πρωτογενείς ρύπους της Αθήνας και παρουσιάζεται με ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις την περίοδο του χειμώνα. Σημαντικά αυξημένη είναι και η επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στη συσχέτιση του με τις εισαγωγές των Αθηναίων πολιτών από οξύ στεφανιαίο σύνδρομο (Ο.Σ.Σ.) στα νοσοκομεία. Οι σταθερές πηγές εκπομπής του διοξειδίου του θείου λαμβάνουν σημαντικό μερίδιο τη περίοδο του χειμώνα, ενώ αντίθετα οι κινητές πηγές, κατά τη καλοκαιρινή περίοδο. Τα τελευταία χρόνια και εξαιτίας της καλύτερης επεξεργασίας των υγρών καυσίμων, οι συγκεντρώσεις του στην Αθήνα έχουν μειωθεί σημαντικά και δεν υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας. Ωστόσο ρύπος συσχετίζεται σημαντικά με τις εισαγωγές πολιτών στα νοσοκομεία, κάτι που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη.

5.3 Περιορισμοί μελέτης.

Όπως όλες οι ερευνητικές εργασίες, έτσι και η παρούσα, είχε κάποιους περιορισμούς, οι οποίοι όμως δεν κρίνονται σημαντικοί για την αξιοπιστία των τελικών της συμπερασμάτων, ειδικά όσον αφορά τα αποτελέσματα για τα δύο φύλα μαζί.

5.3.1 Περιορισμένος αριθμός πηγών κλιματικών δεδομένων.

Τα κλιματικά δεδομένα προέρχονται από μια και μοναδική πηγή, το Εργαστήριο Κλιματολογίας του Γεωλογικού Τμήματος του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, το οποίο βρίσκεται στον Πανεπιστημιακό χώρο του Δήμου Ζωγράφου σε γεωγραφικό μήκος : $37^{\circ} 58'$ βόρεια και πλάτος : $23^{\circ} 47'$ ανατολικά από το κέντρο της πόλης. Κατά αυτόν τον τρόπο δεν αντιπροσωπεύουν ένα μέσο όρο σταθμών μέτρησης, διάχυτων σε ολόκληρη την έκταση της πόλης, κάτι που συμβαίνει στη περίπτωση των ρύπων και των νοσοκομείων, παρά μιας και μοναδικής περιοχής της Αθήνας.

5.3.2 Ελλείψεις ημερήσιων εισαγωγών ανά φύλο.

Σε αρκετές από τις ημερήσιες τιμές εισαγωγών δεν είναι διαθέσιμα τα στοιχεία του φύλου των ασθενών. Ο συνολικός αριθμός των κενών τιμών πριν από την στατιστική τους ανάλυση είναι 446 σε κάθε φύλο (άνδρες/ γυναίκες) χωριστά, αποτελώντας το 73.36% στο συνολικό ποσοστό. Το γεγονός αυτό πιθανόν να επιδρά αρνητικά στα αποτελέσματα των συσχετίσεων αλλοιώνοντας την πραγματική εικόνα τους με συνέπεια να αποτελούν απλώς ενδεικτικά αποτελέσματα και όχι πραγματικά, όπως στην περίπτωση των δυο φύλων μαζί.

5.4 Προτάσεις – δράσεις.

5.4.1 Προτάσεις μείωσης των εκπομπών και των επιπτώσεων τους από κινητές πηγές ρύπανσης.

- Άμεση ενσωμάτωση στη χάραξη της περιβαλλοντικής πολιτικής των στόχων της νέας κοινοτικής οδηγίας για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (CAFE) 2005/0183 (COD), θεσπίζοντας συγκεκριμένα μέτρα για την επίτευξη τους.
- Προσπάθεια μείωσης των διανυόμενων επιβατοχιλιομέτρων μέσω της αποθάρρυνσης της χρήσης ιδιωτικών οχημάτων. Συνδυασμός των μετακινήσεων των πολιτών προς μια κατεύθυνση, με συνδυασμό των δραστηριοτήτων τους, όπου είναι εφικτό. Ορθότερη οδική συμπεριφορά με ομαλές εκκινήσεις, δομένου ότι η επιτάχυνση και η επιβράδυνση προκαλούν τις μέγιστες εκπομπές ρύπων από τα οχήματα.
- Ενθάρρυνση της χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία ενός αποτελεσματικότερου δικτύου, με οριζόντια και περιφερειακή συγκοινωνία μέσα στην πόλη, μέσω κατασκευής νέων σταθμών στάθμευσης περιμετρικά του κέντρου και κοντά στις αφετηρίες των μέσων σταθερής τροχιάς (ηλεκτρικός, τραμ, μετρό) και με τη χρονική επέκταση των δρομολογίων τους και μεσοπρόθεσμα των γραμμών τους, σε όλη την περιφέρεια της Αθήνας.
- Φιλικότερη αυτοκίνηση προς το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της πριμοδότησης αυτοκινήτων με μικρή κατανάλωση καυσίμων, όπως και κάθε άλλης φιλικής τεχνολογίας προς το περιβάλλον (ηλεκτρικά, υβριδικά), μέσω της βελτίωσης της αποδοτικότητας των οχημάτων με αλλαγές στο σχεδιασμό των κινητήρων και των αμαξωμάτων, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων, μέσω κινητήρων χρήσης εναλλακτικών καυσίμων (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη) με προτεραιότητα στους ιδιαίτερα επιβαρυντικούς στόλους οχημάτων (ταξί, λεωφορεία, απορριμματοφόρα κ.α.) όπως και κινητήρων αντικατάστασης του στόλου των πετρελαιοκίνητων

οχημάτων με καινούργιας τεχνολογίας οχήματα, σύμφωνα με τις νέες κοινοτικές οδηγίες.

- Ο Βελτιστοποίηση της ποιότητας καυσίμων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω των αυστηρότατων ελέγχων τήρησης των προδιαγραφών όλων των τύπων καυσίμων, με δειγματοληψίες και εργαστηριακές αναλύσεις σε όλο τον κύκλο ζωής τους από την παραγωγή μέχρι τη χρήση, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των αντίστοιχων οδηγιών (98/70/EK, 2003/17/EK), μέσω προώθησης της κατανάλωσης καυσίμων μηδενικού θείου, από σήμερα (10 ppm από 01/01/09 βάσει νέων Οδηγιών), μέσω της διατήρησης της απαγόρευσης της πετρελαιοκίνησης στα δύο μεγάλα αστικά κέντρα Αθήνας και Θεσσαλονίκης υπό τις παρούσες τουλάχιστον συνθήκες (χωρίς την κατάλληλη τεχνολογική υποστήριξη, η πετρελαιοκίνηση επιφέρει αύξηση των εκπεμπόμενων σωματιδίων και διοξειδίων του αζώτου και μόνο μείωση του διοξειδίου του άνθρακα).
- Ο Αποτελεσματική παρακολούθηση της νοθείας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δημιουργίας μητρώου και κωδικοποίησης όλων των καταγραφών από ιδιοκτήτες δεξαμενών καυσίμων, του γεωγραφικού προσδιορισμού τους και της χωρητικότητας όλων των δεξαμενών που υπάρχουν όπως και της δημιουργίας αντίστοιχου μητρώου βυτίων με αναλυτική χωρητικότητα ανά διαμέρισμα καυσίμων. Παράλληλα πρέπει να υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ροής καυσίμου σε όλους τους χώρους φορτοεκφόρτωσης τους, όπως και να γίνεται ηλεκτρονικός έλεγχος των δρομολογίων τους. Επίσης, η εξομοίωση της τιμής πώλησης ανάμεσα στο πετρέλαιο θέρμανσης, όπου η ανάμιξη τους αποτελεί την επικρατέστερη και τη δυσμενέστερη για το περιβάλλον μορφή νοθείας στην χώρα μας, θα ήταν μια λύση προς αυτήν την κατεύθυνση.
- Ο Υλοποίηση προγράμματος απόσυρσης για οχήματα που χαρακτηρίζονται ως υπερυπαντές. Το πρόγραμμα θα πρέπει να είναι ολοκληρωμένο παρέχοντας και εναλλακτικές λύσεις στους καταναλωτές.
- Ο Άμεμπτη επιτήρηση της υποχρέωσης για τη συντήρηση της μηχανής των οχημάτων και της αντικατάστασης φθαρμένων καταλυτών.
- Ο Εντατικοποίηση των ελέγχων πεδίου των οχημάτων από την τροχαία για κατοχή ισχύουσας κάρτας καυσαερίων (Κ.Ε.Κ.). Παράλληλα απαιτείται έλεγχος των εξουσιοδοτημένων συνεργείων επισκευής οχημάτων, για έκδοση κάρτας ελέγχου των αυτοκινήτων, από το αρμόδιο Τμήμα Αυτοκινήτων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ,
- Ο Χρονικός επαναπροσδιορισμός της λήψης έκτακτων μέτρων όπως και του δακτυλίου στο κέντρο της πόλης.
- Ο Νέες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και σηματοδότηση με βάση την κλίση του δρόμου, με στόχο την παράδοση προτεραιότητας στη διέλευση

οχημάτων που λειτουργούν με περισσότερες στροφές στο κινητήρα, εκπέμποντας περισσότερους ρύπους.

- Ο Διευκόλυνση της οδικής κυκλοφορίας, μέσω κατασκευής νέων δρόμων ταχείας κυκλοφορίας, ανισόπεδων κόμβων και διαπλατύνσεων.

5.4.2 Προτάσεις μείωσης των εκπομπών και των επιπτώσεων τους από σταθερές πηγές ρύπανσης.

Ο Εντατικοποίηση των ελέγχων στις βιομηχανικές μονάδες. Οι έλεγχοι των μεγάλων βιομηχανιών μονάδων πρέπει να βασίζονται αυστηρώς στο θεσμικό πλαίσιο για τη λειτουργία και τις εκπομπές τους (96/61/EK του Συμβουλίου, Κ.Υ.Α. 11294/93, Αποφάσεις 1999/391/EK, 2000/479/EK). Πρέπει να γίνονται μέσω κινητών εργαστηρίων μέτρησης των αερίων, από τους ίδιους τους ελεγκτές του κάθε αρμόδιου τμήματος, απροειδοποίητα και συχνά. Τα όργανα πρέπει να είναι νέας τεχνολογίας, αξιόπιστα, εύχρηστα και με δυνατότητα αυτόματης αποθήκευσης των μετρήσεων. Η επίσπευση των διαδικασιών για την επιβολή των εισηγούμενων προστίμων θα βοηθήσει επίσης σημαντικά στη συμμόρφωση των παραβατών.

Ο Παροχή οικονομικών κινήτρων στις βιομηχανίες για έργα αντιρρύπανσης.

Ο Απαγόρευση καύσης μαζούτ σε όσες βιομηχανίες στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, όπου ακόμη καταναλώνεται.

Ο Εντατικοποίηση των ελέγχων στους καυστήρες κεντρικής θέρμανσης. Οι έλεγχοι των κεντρικών μονάδων θέρμανσης πρέπει να συμμορφώνονται αυστηρός με το θεσμικό πλαίσιο για τη λειτουργία και τις εκπομπές τους (σύμφωνα με την Κ.Υ.Α 10315/93).

Ο Βελτίωση της ισχύουσας νομοθεσίας, θέτοντας αυστηρότερα όρια στις εκπομπές από την καύση του πετρελαίου.

Ο Προώθηση φιλικότερων καυσίμων προς το περιβάλλον μέσω κινήτρων για τη χρησιμοποίηση αποκλειστικά φυσικού αερίου, αντί πετρελαίου θέρμανσης, σε παλιές και νέες κεντρικές μονάδες κατοικιών, εμπορικών καταστημάτων και ξενοδοχείων.

Ο Προώθηση κατασκευής φιλικότερων κατοικιών προς το περιβάλλον μέσω διευκόλυνσης της εμπορίας τους, (π.χ. φορολογικές απαλλαγές) και μέσω της ενημέρωσης των πολιτών για την κατασκευή νέων βιοκλιματικών κατοικιών, την ανακατασκευή παλαιότερων ή διαφόρων παρεμβάσεων που θα επιφέρουν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Ο Ο ρόλος της ενημέρωσης και της ευαισθητοποίησης των πολιτών, στις σύγχρονες κοινωνίες, είναι καταλυτικός. Θα πρέπει να υιοθετηθούν ειδικές εκστρατείες ενημέρωσης, οι οποίες αφορούν συγκεκριμένες

περιβαλλοντικές πολιτικές, με κοινοποίηση στο ευρύτερο κοινό των αποτελεσμάτων τους, με ποσοτικοποιημένα στοιχεία (έντυπα, ραδιόφωνο, internet κ.ά.) σε τακτά χρονικά διαστήματα, τακτική ενημέρωση των αδειούχων εγκαταστατών – συντηρητών καυστήρων, αναβάθμιση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης σε όλες τις βαθμίδες.

5.4.3 Παρεμβάσεις στη πόλη.

ο Ανάπτυξη περιαστικού πρασίνου και προώθηση δενδροφυτεύσεων με στόχο τη δημιουργία νέων φυσικών πνευμόνων στην πόλη.

ο Δημιουργία μητροπολιτικών πάρκων τα οποία θα συμβάλλουν αποφασιστικά στη βελτίωση του μικροκλίματος στην ευρύτερη περιοχή τους.

ο Περιβαλλοντικός σχεδιασμός και διαχείριση του αστικού πρασίνου, μέσω της δημιουργίας ευέλικτων φορέων και με τη συμμετοχή πολιτών.

Οποιαδήποτε δραστηριότητα αναλαμβάνεται από τη πολιτεία στο σύνολο της, όπως και από τον κάθε πολίτη χωριστά, πρέπει να αποσκοπεί στον περιορισμό της συγκέντρωσης των ρύπων στην ατμόσφαιρα της πόλης και στη μείωση των δυσμενών επιδράσεων τους στην ανθρώπινη υγεία. Η ανάληψη όμως τέτοιων πρωτοβουλιών αποσπασματικά, χωρίς να υπάρχει μια ολοκληρωμένη στρατηγική αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα, η οποία θα στοχεύει σε μια περισσότερο υγιεινή και βιώσιμη διαβίωση του Αθηναίου πολίτη στην ίδια του την πόλη, δεν είναι αρκετή.

Στην κατεύθυνση αυτή είναι απαραίτητο να καταβάλλεται προσπάθεια από την πολιτεία για ενημέρωση και ευαισθητοποίηση κάθε φυσικού προσώπου το οποίο ρυπαίνει. Κατά τον προσανατολισμό σε πολιτικές ολοκληρωμένης διαχείρισης του περιβάλλοντος, είναι επίσης απαραίτητο να πεισθεί το σύνολο των πολιτών για την αναγκαιότητα και την αποτελεσματικότητά τους, όπως στην προκειμένη περίπτωση για τα οφέλη από τη μείωση της ρύπανσης σε επίπεδο υγείας και οικονομίας. Κάτι τέτοιο θα συνδράμει σημαντικά στην προσπάθεια αλλαγής της νοοτροπίας των πολιτών και στην υιοθέτηση ενός περιβαλλοντικά ευσυνείδητου τρόπου ζωής, περιορίζοντας την άσκοπη σπατάλη των φυσικών πόρων.

Απαιτείται τέλος, κατανόηση από όλους ότι ανάμεσα στην αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, που προτείνει ο τύπος ανάπτυξης των σύγχρονων κοινωνιών και της υπανάπτυξης, υπάρχει η πρόταση της Βιώσιμης (Αειφορικής) Ανάπτυξης, ή οποία έχει ως στόχο τη διατήρηση των φυσικών πόρων και για το μέλλον, ώστε να δοθεί η δυνατότητα και στις επόμενες γενεές να ικανοποιούν τις ανάγκες τους σε ένα βιώσιμο περιβάλλον. Πρέπει ο άνθρωπος να συνειδητοποιήσει ότι θα ενεργεί για ατομικούς σκοπούς μόνο όταν αυτοί συμπίπτουν με τους αντίστοιχους ολόκληρης της βιοκοινότητας στην οποία ανήκει, ανεβάζοντας έτσι σε υψηλότερες βαθμίδες τον υλικό του και πνευματικό του κόσμο. Πρέπει ο άνθρωπος να λαμβάνει περισσότερη παιδεία από τα πρώτα πολιτισμικά περιβάλλοντα στα οποία έρχεται σε επαφή, το σχολείο και την οικογένεια, ώστε να αποκτήσει ορθή περιβαλλοντική αγωγή σε νεότερη ηλικία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.

AHA American Heart Association , “Air Pollution and Cardiovascular Disease”, *AHA Scientific Statement*, Vol. 109, pp. 2655-2671.

Apheis - Scientific report (1999-2000), *Modalities of organization*, www.invs.sante.fr/publications/2001/apheis/Apheis_p101-136.pdf

Asimakopoulos D., Deligiorgi D., Drakopoulos C., Helmis C., Kokkori K., Lalas D., Sikiotis D., Varotsos C. (1992) “An experimental study of nighttime air-pollutant transport over complex terrain Athens”, *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, pp.59-71.

Atkinson R. (2000), “Atmospheric chemistry of VOCs and NOx”, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2063-2101.

Atkinson R., Arey J. (2003), “Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review”, *Atmospheric Environment*, Vol. 2, pp. 197-219.

Ballester F., Tenias J.M., Perez-Hoyos S. (2001) “Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain”, *Journal of Epidemiology Community Health*, Vol. 55, pp. 57-65.

Bhatnagar A. (2004), “Cardiovascular pathophysiology of environments pollutants”, *Am J Physiology Heart Circulation*, Vol. 286, pp. 479-485.

Boucher K., (1990/91), “The monitoring of air pollutants in Athens with Particular Reference to Nitrogen Dioxide”, *Energy and Buildings*, Vol. 15-16, pp. 637-645.

Boudel R., Fox D., Turner B., Stern A. (1994), *Fundamentals of Air Pollution*, 3rd edition, Academic Press, Καλιφόρνια.

Brennan P.J., Greenberg G., Miall W.E. Thompson S.G. (1982), “Seasonal variations in arterial blood pressure”, *British Medical Journal*, Vol. 285, pp. 919-923.

Burnett R.T., Dales R.E., Brook J.R., Raizenne M.E., Krewski D. (1997) “Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities”, *Epidemiology*, Vol. 2, pp. 162-167.

Chaaban F., Nuwayhid I., Djoundourian S. (2001), “A study of social and economy implications of mobile sources on air quality in Lebanon”, *Transport and Environment*, Vol.6 pp.347-355.

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

Chaloulakou A., Kassomenos P., Spyrellis N., Demokritou P., Koutrakis P. (2003) "Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece", *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 649-660.

Chang C.L., Shipley M., Marmot M., Poulter N. (2004), "Lower ambient temperature was associated with an increased risk of hospitalization for stroke and acute myocardial infraction in young women", *Journal of Clinical Epidemiology*, Vol. 57, pp.749-757.

Danet S., Richard F., Montaye M., Beauchant S., Lemaire B., Graux C., Cottel D., Marecaux N., Ammouyel P. (1999), "Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence myocardial infraction and coronary deaths-a 10 year survey-the Lille WHO-MONICA Project", *Circulation*, Vol. 100, pp.1-7.

DeCoster J. (2003), *Notes on Applied Linear Regression*, Wasserman's Applied Linear Statistical Models, fourth edition.

D'Ippoliti D., Forastiere F., Ancona C., Agabiti N., Fusco D., Michelozzi P., Perucci C.A. (2003), "Air pollution and myocardial infraction in Rome : a case-crossover analysis", *Epidemiology*, Vol. 5, pp. 528-535.

Douglas AS, Al-Sayer H, Rawles JM & Allan TM (1991), "Seasonality of disease in Kuwait", *Lancet*, Vol. 337, pp.1393-1397.

Ehrlich P.R., Ehrlich A.H., Holdren J.P., *Human Ecology*, Freeman, 1973.

Enquesslassic F., Dobson A.J., Alexander H.M., Steele P.L. (1993), "Seasons, temperature and coronary disease", *International Journal of Epidemiology*, Vol. 22, pp. 632-636.

Fadel M., Massoud M. (2000), "Particulate matter in urban areas: health-based economy assessment", *The Science of Total Environment*, Vol. 257 pp. 133-146.

Gende O. (2004), "Carbon monoxide inhibits capacitative calcium entry in human platelets", *Thrombosis Research*, Vol. 114, pp. 113-119.

Gertler A.W. (2005), "Diesel vs. gasoline emissions : Does PM from diesel or gasoline vehicles dominate in the US", *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 2349-2355.

Gross G., Khalil M. (2000), "OH concentrations from a general circulation model coupled with a tropospheric chemistry model", *Chemosphere – Global Change Science*, Vol. 2, pp. 191-206.

Gryparis A., Forsberg B., Katsouyanni K., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Samoli E., Medina S., Anderson H., Niciu E., Wichmann H., Kriz B., Kosnik M., Skorkovsky J., Vonk J., Dortbudak Z. (2004), "Acute effects of ozone on mortality from the air pollution and health", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 170, pp.1080-1087.

Guisan A., Edwards T., Hastie T. (2002), "Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene", *Ecological Modeling*, Vol.157, pp. 89-100.

Hatzakis A., Katsouyanni K., Kalandidi A., Day N., Trichopoulos D. (1986), "Short-term effects of air pollution on mortality in Athens", *Journal of Epidemiology*, Vol. 1, pp.73-81.

Hosseinpour R.A., Forouzanfar M.H., Yunesian M., Asghari F., Naieni H.K., Farhood D. (2005), "Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Teheran, Iran: A time-series study", *Environmental Research*, Vol. 99, pp. 126-131.

Jacob D. (2000), "Heterogeneous chemistry and tropospheric ozone", *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 2131-2159.

Jin S., Demerjian K. (1993) "A photochemical box model for urban air quality study", *Atmospheric Environment*, Vol. 27B, No. 4, pp. 371-387.

Johnson F., Fries E., Banzhaf S. (1997), "Valuing morbidity : An integration of the willingness-to-pay and health-status index literatures", *Journal of Health Economics*, Vol.16, pp.641-665.

Jovanovic B., Hosmer D., Buonaccorsi J. (1995), "Equivalence of several methods for efficient best subsets selection on generalized linear models", *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 20, pp.59-64.

Junker R., Heinrich J., Ulbrich H., Schulte H., Schonfeld R., Kohler E., Assmann G. (1998), "Relationship between plasma viscosity and the severity of coronary heart disease", *Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology*, Vol. 18, pp.870-875.

Kalligeros S., Zannikos F., Stournas S., Lois E. (2003), "Fuel adulteration issues in Greece", *Energy*, Vol. 28, pp.15-26.

Kallos G., Kassomenos P. (1992), "Weather conditions during air pollution episodes in Athens, Greece: an overview of the problem", *19th ITM on Air Pollution Modelling and its Application*, pp. 77-102.

Kassomenos P. (1993), "Study of the atmospheric conditions during air-pollution episodes in the Greater Athens area", Ph. D. thesis, Department of Applied Physics, University of Athens, pp.173.

Kassomenos P., Kotroni V., Kallos G. (1994), "Analysis of climatological and air quality observations from Greater Athens Area", *Atmospheric Environment*, Vol. 29, No.24, pp.3671-3688.

Kassomenos P., Gryparis A., Samoli E., Katsouyanni K., Lykoudis S., Flocas H. (2001) "Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, No 6.

Katsoulis B.D. (1988) "Aspects of the occurrence of persistence surface inversions over Athens basin", *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 39, pp.98-107.

Katsouyanni K., Pantazopoulou A., Touloumi G., Tselepidaki I., Moustiris K., Asimakopoulos D., Pouloupoulou G., Trichopoulos D. (1993), "Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality", *Archives Environment Health*, Vol. 48, pp. 235-242.

Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., Schwartz J., Balducci F., Medina S., Rossi G., Wojtyniak B., Sunyer J., Bacharova L., Schouten J.P., Ponka A., Anderson H.R. (1997) "Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project", *British Medical Journal*, Vol. 314, pp.1658-1663.

Katsouyanni K., Touloumi G., Analitis A., Samoli E., Zmirou D. (2005), "Estimating the exposure-response between particulate matter and mortality within APHEA multicity project", *Health Environment Perspectives*, Vol. 113, pp.88-95.

Keatinge W.R., Donaldson G.C. (2001), "Mortality related to cold and air pollution in London after allowance for effects of associated weather patterns", *Environmental Research Section A*, Vol. 86, pp. 209-216.

Laden F., Neas L., Dockery D., Schwartz J. (2000), "Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, No.10.

Lalas D.P., Veirs V.R., Karras G., Kallos G. (1982) "An analysis of the SO₂ concentration levels in Athens", *Atmospheric Environment*, Vol. 16, pp. 531-544.

Lalas D.P. (1985), "Air pollution in the Athens area. Study of conditions and mechanisms". Final Report, Ministry of Research and Technology, pp.189.

Lee T.J., Kim H., Hong C.Y., Kwon J.H., Schwartz J., Christiani D. (2000), "Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991-1997", *Environmental Research Section A*, Vol. 84, pp.247-254.

Lin C.A., Pereira L.A.A., Conceicao G.M.S., Kishi H.S., Milani R., Braga A.L.F., Saldiva P.H.N. (2003), "Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits", *Environmental Research*, Vol. 92, pp.57-63.

Mackenbach J.P., Looman C.W.N., Kunst A.E. (1993), "Air pollution, lagged effects of temperature, and mortality: The Netherlands 1979-1987", *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 47, pp.121-126.

Magari S., Hauser R., Schwartz J., Williams P., Smith T., Christiani D. (2001), "Association of heart rate variability with occupational and environmental exposure to particulate air pollution", *AHA Clinical Investigation and Reports*, Vol. 104.

Manahan S. (2000), *Fundamentals of Environmental Chemistry*, 2nd Edition, CPR Press LLC, New York.

Medina S., Tertre A., Quenel P., Moullec Y., Lameloise P., Guzzo J.C., Festy B., Ferry R., Dab W. (1997), "Air pollution and doctors' House calls: Results from the ERPURS system of monitoring the effects of air pollution on public health in Greater Paris, France, 1991-1995", *Environmental Research*, Vol.75, pp.73-84.

Moschos N., Christoforaki M., Antonatos P. (2004), "Seasonal distribution of acute myocardial and its relation to acute infections in a mild climate", *International Journal of Cardiology*, Vol. 93, pp. 39-44.

Moussiopoulos N., Sham P., Kessler Ch. (1995), "Numerical simulation of photochemical smog formation in Athens, Greece – A case study", *Atmospheric Environment*, Vol. 29, pp.3619-3632.

Pan W.H., Li L.A., Tsai M.J. (1995), "Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese", *Lancet*, Vol.345, pp. 353-355.

Panagiotakos D., Chrysoschoou C., Pitsavos C., Nastos P., Anabiotis A., Tentolouris C., Stefanidis C., Toutouzas P., Paliatatos A. (2004), "Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes", *International Journal of Cardiology*, Vol. 94, pp. 229-233.

Panagiotakos D., Pitsavos C., Antonoulas A., Zombolos S., Kogias Y., Mantas Y., Stayropodis P., Kourlaba G., Stefanidis C. (2005), "Epidemiology of acute coronary syndromes in a Mediterranean country ; aims, design and baseline characteristics of the Greek study of acute coronary syndromes (GREECS) ", *BMC Public Health*, Vol. 5 pp. 1-23.

Panagiotakos D., Pitsavos C. (2003), *Associations between primary air pollutants and cardiovascular mortality, in Athens, Greece*, Annual meeting of American Heart Association, 2003, Press Release.

Pantazopoulou A., Katsouyanni K., Kourea-Kremastinou J., Trichopoulos D. (1995) "Short-term effects of air-pollution on hospital emergency outpatient visits and admissions in the Greater Athens, Greece Area", *Environmental Research*, Vol. 69, pp. 31-36.

Participants in the National Registry of Myocardial Infarctions, Ornato J.P., Peberdy M.A., Chandra N.C., Bush D.E. (1996), "Seasonal pattern of acute myocardial infarction in the National Registry of Myocardial Infarction", *Journal American College Cardiology*, Vol. 28, pp. 1684-1688.

Quah E., Boon L. (2003), "The economic cost of particulate air pollution on health in Singapore", *Journal of Asian Economics*, Vol.14, pp.73-90.

Rogot E., Sortie P.D. & Backlund E. (1992), "Air conditioning and mortality on hot weather", *American Journal of Epidemiology*, Vol. 136, pp.106-116.

- Ross R.D. (1972), *Air Pollution and Industry*, Van Nostrand Reinhold Company, N.York.
- Rossi G., Vigotti M.A., Zanobetti A., Repetto F., Gianelle V., Schwartz J. (1999), "Air pollution and cause-specific mortality in Milan, Italy, 1980-1989", *Archives of Environmental Health*, Vol. 54, pp. 158-64.
- Routledge H.C., Ayres J.G., Townend J.N. (2003), "Why cardiologists should be interested in air pollution", *British Medical Journal*, Vol. 89, pp. 1383-1388.
- Salvi S., Blomberg A., Rudell B., Kelly F., Sandstrom T., Holgate S., Frew A. (1999) "Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy volunteers", *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, Vol. 159, No 3, pp. 702-709.
- Samet J.M., Zeger S., Kelsall J., Jing X., Kalkstein L. (1998), "Does weather confound or modify the association of particulate air pollution with mortality?", *Environmental Research, Section A*, Vol. 77, pp.9-19.
- Samet J.M., Dominici F., Curriero F.C., Coursac I., Zeger S.L. "Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities 1987-1994", *New England Journal of Medicine*, Vol. 343, pp.1742-1749.
- Samoli E., Schwartz J., Wojtyniak B., Touloumi G., Spix C., Balducci F., Medina S., Rossi G., Sunyer J., Bacharova L., Anderson H.R., Katsouyanni K. (2001), "Investigating regional differences in short-term effects of air pollution on daily mortality in the Aphea project: a sensitivity analysis for controlling long-term trends and seasonality", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, No 4.
- Samoli E., Analitis A., Touloumi G., Schwartz J., Anderson H., Sunyer J., Bisanti L., Zmirou D., Vonk J., Pekkanen J., Goodman P., Paldy A., Schindler C., Katsouyanni K. (2005) "Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the Aphea multicity project", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 113, No.1.
- Saport F., Snacken R., Demuth C., Walckiers D. (1995), "Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium", *Environmental Research*, Vol. 70, pp.105-113.
- Schauer J.J, Rogge W.F., Mazurek M.A., Hildemann L.M., Cass G.R., Simoneit B.R., 1996, "Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers", *Atmospheric Environment*, Vol. 30, pp. 3837-3855.
- Schwartz J (1994), "What are people dying of on high air pollution days?", *Environmental Research*, Vol. 64, pp. 26-35.
- Schwartz J., Morris R. (1995), "Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan", *Am Journal of Epidemiology*, Vol. 142, pp. 23-35.

Schwartz J (1997), "Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Tucson", *Intern. Journal of Epidemiology*, Vol. 4, pp. 371-377.

Schwartz J (1999), "Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. countries", *Epidemiology*, Vol. 1, pp. 1-4.

Scirica B., Cannon C., McCabe C., Murphy S., Anderson V., Rogers W., Stone P., Braunwald E. (2002), "Prognosis in the Thrombolysis in Myocardial Ischemia III Registry According to the Braunwald Unstable Angina Pectoris Classification", *The American Journal of Cardiology*, Vol. 90, pp.821-826.

Sharovsky R., Cesar L.A.M., Ramires J.A.F. (2004), "Temperature, air pollution, and mortality from myocardial infarction in Sao Paulo, Brazil", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 37, pp. 1651-1657.

Spencer A.F., Goldberg J.R., Becker C.R., Gore M.J. (1998), "Seasonal distribution of acute myocardial infarction in the Second National of Myocardial Infarction", *Journal American College Cardiology*, Vol.31, pp.1226-1233.

Steyn D.G., Kallos G. (1992) "A study of dynamics of hodograph rotation in the breezes of Attica", *Boundary - Layer Met.*, Vol. 58, pp.215-228.

Suwa T., Hogg J., Quinlan K., Ohgami A., Vincent R., Van Eeden S. (2002), "Particulate Air Pollution Induces Progression of Atherosclerosis", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 39, No 6.

Tang X., Madronich S., Wallington T., Calamari D. (1998), "Changes in tropospheric composition and air quality", *Journal of Photochemistry and Photobiology*, Vol. 46, pp. 83-95.

Tetre A., Medina S., Samoli E., Forsberg B., Michelozzi P., Boumghar A., Vonk M., Bellini A., Atkinson R., Ayres J.G., Sunyer J., Schartz J., Katsouyanni K. (2002) "Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities", *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 56, pp.773-779.

Tietenberg T., (1998), *Οικονομική του Περιβάλλοντος και των Φυσικών Πόρων*, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.

The Eurowinter Group (1997), "Cold experience and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe", *Lancet*, Vol. 349, pp.1341-1346.

The Joint European Society of Cardiology / American College of Cardiology Committee, (2000), "Myocardial infarction redefined", *European Heart Journal*, Vol. 21, pp.1502-1513.

Thompson S.G., Kienast J., Pylse S.D.M., Haverkate F. & Vandeloo J.C.W. (1995), "Hemostatic factors and the risk of myocardial infarction or sudden death in patients with angina pectoris", *New England Journal of Medicine*, Vol. 332, pp. 635-641.

Touloumi G., Pollock S.J., Katsouyanni K., Trichopoulos D. (1994), "Short effects of air pollution on daily mortality on Athens: a time-series analysis", *International Journal of Epidemiology*, Vol. 5, pp.957-967.

Touloumi G., Samoli E., Katsouyanni K. (1996), "Daily mortality and winter type air pollution in Athens, Greece – a time series analysis within the APHEA project", *Journal of Epidemiology and Community Health*, Vol. 50, pp.S47-S51.

Wahlin P., Palmgren F., Dingenen R., Raes F., "Pronounced decrease of ambient particle number emissions from diesel traffic in Denmark after reduction of the sulphur content in diesel fuel", *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pp.3549-3552.

Warnatz J, (1984), "*Combustion Chemistry*", Springer, Berlin, 1984.

Wong T.W., Lau T.S., Pang S.W., Tam W., Wong S.L., Neller A., Yu T.S. (1999), "Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong", *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 56, pp. 679-683.

Woodhouse P.R., Khaw K.T. & Plummer M (1993), "Seasonal variation of blood pressure and its relationship to ambient temperature in an elderly population", *Journal of Hypertension*, Vol. 11, pp. 1267-1274.

Zanobetti A., Schwartz J. (2005), "The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 113, No.8, pp.978-982.

Zanobetti A., Schwartz J., Samoli E., Gryparis A., Touloumi G., Peacock J., Anderson R., Tertre A., Bobros J., Celco M., Goren A., Forsberg B., Michelozzi P., Rabaczenko D., Hoyos S., Wichmann H., Katsouyanni K. (2003), "The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution", *Environmental Epidemiology Program*, Vol. 111, pp.1188-1193.

Ελληνική βιβλιογραφία.

Αμπελιώτης Κ. (2002), *Εισαγωγή στη Βιώσιμη Ανάπτυξη*, Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Βιώσιμης Ανάπτυξης, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Γεντεκάκης Ι. (2003), *Ατμοσφαιρική ρύπανση : επιπτώσεις έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Γεωργόπουλος Α. (2001), *Γη ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης*, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.

Εβρένογλου Λ. (2004), *Επιπτώσεις στην Δημόσια Υγεία από τις εκπομπές CO, NOx, SO₂, PAH, O₃*, Πρακτικά ημερίδας με θέμα «Πετρελαιοκίνηση και περιβάλλον», Αθήνα, 30 Νοεμβρίου 2004.

Ευρωπαϊκή Ένωση (2005α), "Δραστηριότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Εισαγωγή - Περιβάλλον", www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκή Ένωση (2005β), “Δραστηριότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης - Στρατηγική υπέρ της αειφόρου ανάπτυξης”, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (1999) “Δελτίο τύπου EU 98 – Το περιβάλλον στην Ευρωπαϊκή Ένωση στα τέλη του αιώνα”, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2002α) “Σήματα από το περιβάλλον”, Environmental assessment report No 9, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2002β) “Προετοιμάζοντας το έδαφος για τη διερεύνηση της Ε.Ε. – Δείκτες ολοκλήρωσης του τομέα μεταφορών και περιβάλλοντος”, Environmental issue report No 32, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2002γ) “Η ενέργεια και το περιβάλλον στη Ευρωπαϊκή Ένωση”, Environmental issue report No 31, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2003) “Το περιβάλλον στη Ευρώπη : Τρίτη αξιολόγηση”, Environmental assessment report No 10, www.eea.eu.int.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2004) “Σήματα Ε.Ο.Π. 2004”, www.eea.eu.int.

Καρβούνης Σ., Γεωργακέλλος Δ. (2003), *Διαχείριση του Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Κουϊμτζή Θ. (1997) *Χημεία περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κουϊμτζή Θ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. (1994), *Έλεγχος Ρύπανσης Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κ.Υ.Α. 3277/209/2000 (ΦΕΚ 180Β/17-2-2000), “Καθορισμός γενικών αρχών και αρμόδιων υπηρεσιών, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα περιβάλλοντος”.

Κ.Υ.Α. 9238/332/2004(ΦΕΚ 405Β/27-2-2004), “Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε βενζόλιο και μονοξείδιο του άνθρακα”.

Κωτσοβίνου Ν. (1992), *Ρύπανση και προστασία περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Φουντάς, Αθήνα.

Κώττης Γ. (1994), *Οικολογία και Οικονομία*, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Μοδινός Μ. (1992), *Βιωσιμότητα και πράσινα οικονομικά*, Νέα Οικολογία, τεύχος 89, Μάρτιος 1992.

Μάλλιαρος Χ. (2000), *Περιβάλλον Ρύπανση Τεχνικές Αντιρύπανσης*, Εκδόσεις Μεταίχμιο, Αθήνα.

Μαρκάκης Μ. (2004), *Ποιότητα πετρελαίου κίνησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα*, Πρακτικά ημερίδας με θέμα «Πετρελαιοκίνηση και περιβάλλον», Αθήνα, 30 Νοεμβρίου 2004.

Οδηγία 96/62/EC του Συμβουλίου, της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 1996, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του περιβάλλοντος αέρα, www.eea.eu.int.

Οδηγία 96/61/EC του Συμβουλίου, της 24^{ης} Σεπτεμβρίου 1996, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, www.eea.eu.int.

Οδηγία 99/30/EC του Συμβουλίου, της 22^{ης} Απριλίου 1999, σχετικά με τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίου του αζώτου σωματιδίων και μολύβδου στον ατμοσφαιρικό αέρα, www.eea.eu.int.

Οδηγία 2000/69/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16^{ης} Νοεμβρίου 2000, για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον ατμοσφαιρικό αέρα, www.eea.eu.int.

Οδηγία 2001/81/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23^{ης} Οκτωβρίου 2001, σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους, www.eea.eu.int.

Οδηγία 2002/3/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 12^{ης} Φεβρουαρίου 2002, σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα, www.eea.eu.int.

Οδηγία 2003/17/EC του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου και Κοινοβουλίου, της 3^{ης} Μαρτίου 2003 ως τροποποίηση της 98/70/EK, σχετικά με τη ποιότητα της βενζίνης και του πετρελαίου κίνησης, www.eea.eu.int.

Οδηγία 2005/0183, του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, Έκθεση υποβληθείσα από τη Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 21/09/2005, για τη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (CAFE), www.eea.eu.int

Παυλόπουλος Κ. (2001), *Διαχείριση περιβάλλοντος*, Σημειώσεις, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Πετράκης Μ. (2004), *Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αττική*, Πρακτικά ημερίδας με θέμα «Αττική: Μια περιοχή εθισμένη στη Ρύπανση», Αθήνα, 20 Μαρτίου 2005.

Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου 34/30.5.2002 (ΦΕΚ 125Α /5-6-2002), “Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου”.

Μιχαλοπούλου Χ. (2004), *Νομοθεσία για το Περιβάλλον*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Σαρηγιάννης Γ. (2003), Καθηγητής Πολοδομίας Ε.Μ.Π, *Η ρύπανση από τα Ι.Χ. και το πρόβλημα της συγκοινωνίας*, Δημοσίευση στην εφημερίδα Το Έθνος, 18/08/2003.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2001), Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.), «Έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αθήνας 2001», www.minenv.gr.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2002), Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.), «Έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αθήνας 2002», www.minenv.gr.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2004), Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.), «Έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αθήνας 2004», www.minenv.gr.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ (2003), Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (Δ.Ε.Α.Ρ.Θ.), «Απολογιστική Έκθεση του τμήματος αυτοκινήτων και εξωτερικών καύσεων», www.minenv.gr.