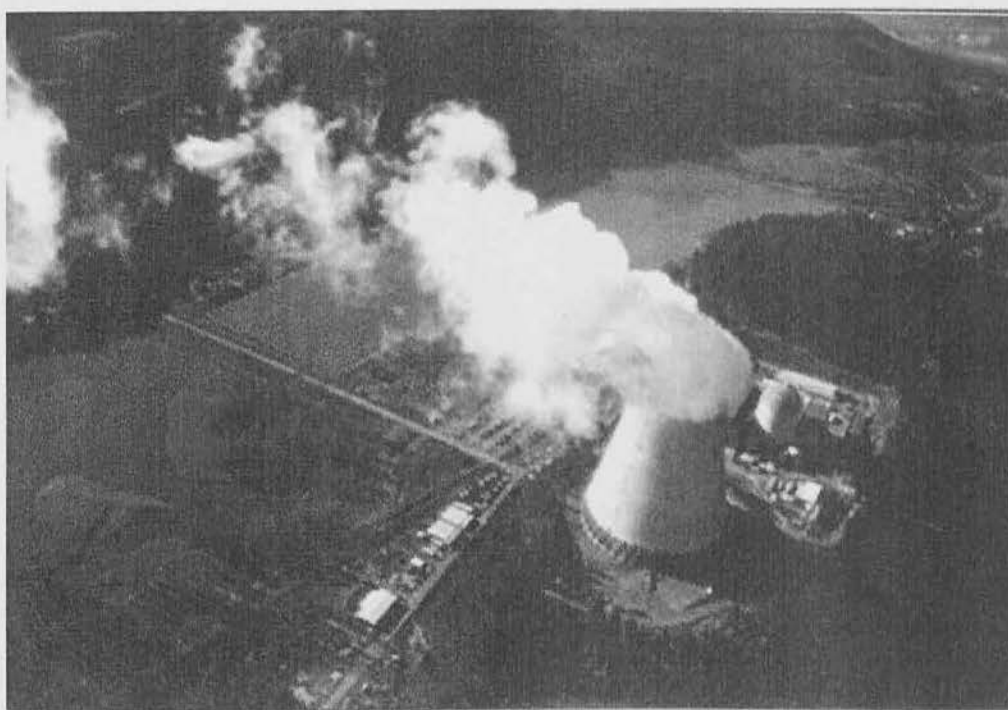


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ:
ΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**



Σπουδάστρια: Κωνσταντινιά Γάκη

Εισηγητής: Αθαν. Γ. Παλιατσός

ΑΘΗΝΑ 2000

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί συνεισφορά στη διαχείριση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας αστικής περιοχής με παρουσίαση των προδιαγραφών για τη δημιουργία αστικού σταθμού ελέγχου των παραμέτρων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και μετεωρολογικών παραμέτρων.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της πτυχιακής αυτής εργασίας έγινε από τον Δρα. Αθανάσιο Γ. Παλιασό, καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, τον οποίο και ευχαριστώ για τη συνεχή και πολύτιμη βοήθειά του, κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, από τη θέση αυτή επιθυμώ να ευχαριστήσω τον Δρα. Ιωάννη Ζιώμα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την πολύτιμη βιβλιογραφία που έθεσε στη διάθεσή μου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το οποίο είναι ιδιαίτερα οξύ στις αστικές και περιαστικές περιοχές, είναι ένα αρκετά σύνθετο φαινόμενο το οποίο επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους.

Η διάλυση των ατμοσφαιρικών ρύπων εξαρτάται από το χρόνο εκπομπής τους, από την πηγή, από τη φύση του ρύπου, από τη θέση και τα χαρακτηριστικά στοιχεία της πηγής, από τις μετεωρολογικές συνθήκες (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βαρομετρική πίεση, ύψος βροχής και ολική ηλιακή ακτινοβολία), από την τοπογραφία της περιοχής και τέλος από τις αλληλεπιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται στην περιοχή.

Για τη μελέτη και τον έλεγχο αυτών των παραμέτρων απαιτείται σύνθετη αντιμετώπιση η οποία να εξασφαλίζει την αξιοπιστία αποτελεσμάτων τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ενδεχόμενη προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της υπό μελέτη περιοχής.

Στο συγκεκριμένο σταθμό προτείνεται η εγκατάσταση αναλυτών για τη μέτρηση του διοξειδίου του θείου, του υδροθείου, του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου, του όζοντος, των υδρογονανθράκων και των αιωρούμενων σωματιδίων. Η επιλογή, για την παρακολούθηση των παραπάνω ρύπων έγινε με βάση τις ιδιότητές τους, τις πηγές τους, τις επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία αλλά και γενικότερα στο περιβάλλον.

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ατμόσφαιρα είναι το αέριο περίβλημα της γης που έχει μέσο πάχος 100km από την επιφάνεια της γης προς τα επάνω και συγκρατείται γύρω από αυτή με τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι η πηγή του οξυγόνου (O_2) που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων, του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και του αζώτου (N_2) που είναι απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή. Είναι επίσης αποδέκτης των χημικών ουσιών που παράγονται από τις φυσικές πηγές καθώς και την ανθρωπογενή δραστηριότητα.

Ο ρόλος της ατμόσφαιρας είναι ότι δρα σαν προστατευτικός μανδύας για τη γη, γιατί αφενός μεν είναι ο χώρος ψύξης του κύκλου του ύδατος, αφετέρου δε λειτουργεί σαν φίλτρο, φιλτράροντας ορισμένες περιοχές του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να απορροφά μεγάλο μέρος της υπεριώδους-β ακτινοβολίας. Επίσης λειτουργεί σαν ρυθμιστικός παράγοντας της θερμότητας της γης με απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει η γη.

Ένας πρώτος διαχωρισμός της ατμόσφαιρας σε δύο μεγάλες περιοχές γίνεται με βάση τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος. Οι περιοχές αυτές είναι η ομοιόσφαιρα και η ετερόσφαιρα και η διαχωριστική τους περιοχή βρίσκεται περίπου στο ύψος των 100 km.

Τα συστατικά της ομοιόσφαιρας, τα οποία εμφανίζονται στον Πίνακα 1, κατατάσσονται σε τρία επίπεδα συγκέντρωσης: τα κύρια συστατικά με περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 1% (N_2 , O_2), τα δευτερεύοντα συστατικά με περιεκτικότητα μεταξύ 0,01% και 1% (CO_2 , Ar, H_2O) και τα ιχνοσυστατικά με περιεκτικότητα μικρότερη του 0,01%.

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

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

Στην ετερόσφαιρα, σε αντίθεση με την ομοιόσφαιρα, παρατηρείται μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος κατά τέτοιο τρόπο, που η αύξηση του ύψους να αντιστοιχεί σε ελάττωση του μοριακού βάρους του αέρα.

Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού της ατμόσφαιρας είναι αυτός που βασίζεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Με αυτό το διαχωρισμό η ομοιόσφαιρα μπορεί, σε πρώτη προσέγγιση, να χωρισθεί σε τρεις βασικές περιοχές, την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα, τη μεσόσφαιρα και τη βάση της θερμόσφαιρας. Η περιοχή πάνω από την τροπόσφαιρα και μέχρι το ύψος περίπου των 100 km ονομάζεται μέση ατμόσφαιρα. Επίσης η ετερόσφαιρα μπορεί να χωρισθεί στην κυρίως θερμόσφαιρα και στην εξώσφαιρα. Αναλυτικά, αυτές οι επιμέρους ατμοσφαιρικές περιοχές, με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος είναι:

Τροπόσφαιρα: Είναι η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 12 ± 4 km. Το ύψος του ατμοσφαιρικού αυτού στρώματος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και από την εποχή του έτους. Η τροπόσφαιρα είναι γνωστή και σαν κατώτερη ατμόσφαιρα.

Μέσα στο ατμοσφαιρικό αυτό στρώμα γίνονται οι περισσότερες ημερήσιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που επηρεάζεται σημαντικά από τα αποτελέσματα της τριβής που αναπτύσσεται εξαιτίας των ανωμαλιών και του ανάγλυφου της επιφάνειας τη γης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το τμήμα της τροπόσφαιρας που αποτελεί το στρώμα της τριβής, εκτείνεται από την επιφάνεια της γης μέχρι και το ύψος των 1.5 km.

Η τροπόσφαιρα χαρακτηρίζεται από:

- α) μία περίπου ομοιόμορφη ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος, η οποία κατά μέσο όρο είναι ίση με $6.5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Η ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος ονομάζεται θερμοβαθμίδα,
- β) συνεχή εναλλαγή ατμοσφαιρικών φαινομένων και μετεωρολογικών διεργασιών που διαμορφώνουν τον καιρό,
- γ) αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος (λόγω μείωσης των τριβών), η μέγιστη δε ταχύτητα παρατηρείται στα ανώτερα όρια της τροπόσφαιρας,
- δ) αξιόλογες κατακόρυφες κινήσεις του αέρα και
- ε) σημαντική περιεκτικότητα σε υδρατμούς, ιδιαίτερα δε στα κατώτερα στρώματά της.

Η άνω οριακή περιοχή της τροπόσφαιρας ονομάζεται τροπόπαυση η οποία αποτελεί μάλλον μία μεταβατική ζώνη ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και στο αμέσως υπερκείμενο ατμοσφαιρικό στρώμα (στρατόσφαιρα), παρά ένα συγκεκριμένο διαχωριστικό στρώμα.

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τροπόπαυσης είναι η μη ύπαρξη κατακόρυφης μεταβολής της θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο προσδιορισμού τόσο του ύψους, όσο και του πάχους της τροπόσφαιρας.

Στρατόσφαιρα: Είναι το ατμοσφαιρικό στρώμα που φτάνει μέχρι το ύψος των 50 km.

Στην αρχή είναι ισόθερμη και στη συνέχεια αυξάνεται η θερμοκρασία με το ύψος μέχρι σχεδόν και τη διαχωριστική της επιφάνεια με το επόμενο ατμοσφαιρικό στρώμα που

λέγεται στρατόσφαιρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος μέσα στη στρατόσφαιρα οφείλεται στην απορρόφηση μεγάλου μέρους της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον (O_3) και αυτή είναι η διεργασία που αποτελεί τη βασική πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας.

Μεσόσφαιρα: Είναι το ατμοσφαιρικό στρώμα που φτάνει μέχρι το ύψος των 80 km και χαρακτηρίζεται από τη συνεχή μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος. Η διαχωριστική επιφάνεια από το επόμενο στρώμα είναι η μεσόπαυση, με χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι είναι η πιο ψυχρή περιοχή της ατμόσφαιρας.

Θερμόσφαιρα: Εκτείνεται πάνω από τη μεσόπαυση και μέχρι περίπου το ύψος των 400 km όπου υπάρχει η περιοχή της θερμόπαυσης. Χαρακτηριστικό της είναι η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος, η οποία φτάνει στους 1000 °K στο ανώτερο όριο της περιοχής αυτής. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας και στη συνεχή διάσπαση και ιονισμό των αερίων.

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

2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ρυπασμένος αέρας είναι αυτός που περιέχει ξένες προσμίξεις σε αναλογίες τέτοιες που μπορεί να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση εμφανίζεται και στις τρεις φυσικές καταστάσεις: τη στερεά (σκόνη), την υγρή (σταγονίδια) και την αέρια (CO_2 , SO_2 , H_2S , NO_x , και άλλα).

2.1 Ιστορική αναδρομή του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τόσο παλιό, όσο και ο άνθρωπος. Από την εποχή των σπηλαίων είχαμε τα πρώτα προβλήματα ρύπανσης όταν η χρήση της φωτιάς δημιούργησε τις πρώτες ενοχλήσεις από τον καπνό και ίσως και δηλητηριάσεις από το μονοξειδίο του άνθρακα (CO).

Από το 500 π.Χ. οι ιστορικοί ανέφεραν την καύση αργού πετρελαίου στους περσικούς βωμούς, ενώ το 100 π.Χ. ο Οράτιος θρηνεί στα ποιήματά του, τους μαυρισμένους από καπνό ναούς της Ρώμης. Στην Κάτω Ιταλία, στην περιοχή της Σύβαρης, αναφέρεται ότι έχει απαγορευτεί επίσημα η λειτουργία καμινιών στο κέντρο της πόλης, για τον περιορισμό του καπνού. Στην Αγγλία, το έτος 1306 απαγορεύτηκε η καύση λιθάνθρακα την ώρα που συνεδρίαζε η Βουλή και ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση αυτού του νόμου.

Το πρόβλημα της ρύπανσης από καπνό αυξήθηκε ιδιαίτερα κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης, στα τέλη του 18ου αιώνα. Αποκορύφωση του προβλήματος της ρύπανσης από καπνό έχουμε στο Λονδίνο το 1952, όπου εκδηλώθηκε σοβαρότατο επεισόδιο αιθαλομίχλης στην περίοδο 5-9/12/1952 όπου προκλήθηκε ο θάνατος 4000 ατόμων. Ανάλογο πρόβλημα εμφανίστηκε στη Νέα Υόρκη το Νοέμβριο του 1953, όπου προκλήθηκε ο θάνατος 250 ατόμων, με αποτέλεσμα Αγγλία και Αμερική να θεσπίσουν νόμους για το αέριο περιβάλλον τους τα έτη 1956 και 1955 αντίστοιχα. Παρά τους νόμους αυτούς, τα «νέφη» συνέχισαν την καταστροφική τους πορεία για μεν το Λονδίνο τα έτη 1956 (1/1956, 1000 θάνατοι), 1957 (12/1957, 800 θάνατοι) και 1962 (12/1962, 700 θάνατοι) για δε τη Νέα Υόρκη τα έτη 1963 (1-2/1963, 400 θάνατοι) και 1966 (12/1966, 168 θάνατοι). Επειδή τα ίδια προβλήματα είχαν όλες οι ανεπτυγμένες βιομηχανικά περιοχές, αυτό οδήγησε σε θέσπιση διατάξεων για την καταπολέμηση του καπνού και τη βελτίωση

της τεχνολογίας της καύσης καυσίμων, με αποτέλεσμα σταδιακά το πρόβλημα να τεθεί υπό έλεγχο.

Με την πάροδο του χρόνου ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο, αλλά η ποιότητα του αέρα λόγω της αυξανόμενης κατανάλωσής του μεταβλήθηκε προς το χειρότερο. Ένας νέος τύπος ρύπανσης του αέρα εμφανίζεται. Αντί για τον καπνό, την αιθάλη, την τέφρα και το διοξείδιο του θείου, εμφανίζονται οι δευτερογενείς ρύποι, όπως το όζον. Ο νέος τύπος ρύπανσης, γνωστός σαν «φωτοχημική ρύπανση» ή «Ρύπανση τύπου Los Angeles» εμφανίζεται όταν έχουμε έντονη ηλιακή δραστηριότητα, δηλαδή τη θερμή περίοδο του έτους.

Μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η αύξηση του πληθυσμού, η συγκέντρωση στα αστικά κέντρα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε αγαθά, η ανάπτυξη της βιομηχανίας, η απρόσεκτη χρήση της τεχνολογίας, η αξιολόγηση όλων των παραμέτρων μόνο με οικονομικά μεγέθη και η μη συνεκτίμηση των συνεπειών τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ποιότητα ζωής, είχαν σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία άνοδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στην Αθήνα, από το 1973 έχουν αρχίσει να εμφανίζονται, με αυξανόμενη συχνότητα, επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με την παρουσία του «νέφους» της Αθήνας. Τα αίτια σχηματισμού αυτού του «νέφους» είναι, για μιν το χειμώνα τα SO_x , τα NO_x , ο καπνός και τα αιωρούμενα σωματίδια, για δε το υπόλοιπο του έτους το O_3 , τα NO_x , και τα αερολύματα που δημιουργούνται από τη φωτοχημική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας επί των υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου. Οι εκπομπές από την κυκλοφορία καθώς και τη βιομηχανία παίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό του «νέφους», ενώ ο ρόλος της κεντρικής θέρμανσης περιορίζεται μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, στην Αθήνα, μέχρι σχεδόν τα μέσα της δεκαετίας του '70 εμφάνισε σημαντικά ανοδική τάση, με αποτέλεσμα ο ετήσιος αριθμός ημερών με επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καπνό και διοξείδιο του θείου στα μέσα της δεκαετίας να φτάσει στο μέγιστο (27 ημέρες για το διοξείδιο του θείου και 15 για τον καπνό) (Τσελεπιδάκι και άλλοι, 1982, Παλιατσός, 1999). Μετά το έτος 1977 παρατηρήθηκε μείωση του ετήσιου αριθμού ημερών με επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο από καπνό, όσο και από διοξείδιο του θείου. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στα μέτρα που έλαβε η Ελληνική Πολιτεία για τη βελτίωση της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων και τα οποία εμφανίζονται στον Πίνακα 2.

Χρονολογία	ΛΗΦΘΕΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
9/1976	Απαγόρευση χρήσης μαζούτ (S:3,5%) γύρω από την Ακρόπολη και αντικατάσταση του με Diesel (S:1,0%).
11/1977	Το ίδιο για ολόκληρο το Λεκανοπέδιο της Αττικής, για θέρμανση.
5/1981	Διακοπή λειτουργίας της μονάδας της ΔΕΗ στο Κερασίμι.
5/1981	Απαγόρευση χρήσης μαζούτ (S:3,5%) σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες της Αθήνας και αντικατάστασή με μαζούτ μειωμένης περιεκτικότητας σε θείο (S:1,0%).
7/1981	Επέκταση του παραπάνω μέτρου και για το Θριάσιο Πεδίο.
12/1981	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του Diesel σε θείο (από 1,0% σε 0,5%).
10/1982	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του μαζούτ σε θείο (0,7%).
12/1982	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του Diesel σε θείο (0,3%)

Πίνακας 2. Μέτρα που λήφθηκαν από την Ελληνική Πολιτεία για τη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων (ΠΕΡΠΑ, 1989).

Η Αθήνα είναι μία πόλη που κατοικείται από το 1/3 περίπου του συνολικού πληθυσμού της χώρας, με μεγάλη πυκνότητα κτιριακών συγκροτημάτων, με στενούς δρόμους και έλλειψη σε χώρους πρασίνου, εμφανίζει δε μεγάλη εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα η αντιμετώπιση των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίζονται σε αυτή να είναι αρκετά δύσκολο έργο. Η Αθήνα βρίσκεται στο

Λεκανοπέδιο της Αττικής, σε μία περιοχή με σχετικά μικρή έκταση (450 km^2) που είναι διατεταγμένη στον ΒΑ άξονα και περικλείεται από τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηττού, της Πεντέλης και του Αιγάλεω, ενώ η νότια πλευρά της ορίζεται από το Σαρωνικό Κόλπο. Μεταξύ των βουνών υπάρχουν μικρά φυσικά γεωγραφικά ανοίγματα, όπως υπάρχουν και κάποιοι λόφοι με σημαντικότερους την Ακρόπολη και το Λυκαβηττό. Η ύπαρξη αυτού του ορεινού όγκου γύρω από το Λεκανοπέδιο της Αθήνας, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία φυσικού φράγματος στη διασπορά των ρύπων και έτσι η μόνη διέξοδος είναι αυτή προς τη θάλασσα.

Για την Αθήνα, εκτός της τοπογραφίας και των ισχυρών πηγών ρύπανσης, το κλίμα της περιοχής ευνοεί την εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών. Μετρήσεις για τις θερμοκρασιακές αναστροφές γίνονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στο σταθμό του Ελληνικού δύο φορές την ημέρα τις ώρες 02:00 L.S.T. και 14:00 L.S.T.

2.2 Πηγές Ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

1) Φυσικές πηγές: Ο ρυθμός έκλυσης των αέριων ρύπων από την ίδια τη φύση με διάφορες φυσικές διεργασίες όπως η δραστηριότητα των ηφαιστείων, η αποσύνθεση των φυτών και των ζώων, το κάψιμο των δασών, οι εκπομπές ουσιών από τους ωκεανούς και η δραστηριότητα των βακτηριδίων στο έδαφος και τα ύδατα «εμπλουτίζουν» την ατμόσφαιρα με διάφορα αέρια και σωματίδια που μεταβάλλουν τη σύστασή της. Όμως, στη συνέχεια αποκαθίσταται μια φυσική ισορροπία, επιτρεπτή από το συνολικό οικοσύστημα.

2) Ανθρωπογενείς πηγές: Είναι αυτές που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως, τα μέσα μεταφοράς, οι βιομηχανίες, η κεντρική θέρμανση, η παραγωγή ενέργειας, η καύση απορριμμάτων και άλλες. Οι ανθρωπογενείς πηγές διακρίνονται σε:

2.1) Κινητές πηγές. Σ'αυτές περιλαμβάνονται:

- Οχήματα: Η ρύπανση που προέρχεται από τα αυτοκίνητα αφορά τα προϊόντα της καύσης του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την κίνηση και περιλαμβάνει υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, σωματίδια και οξείδια του θείου.
- Αεροπλάνα: Οι εκπομπές είναι περίπου ίδιες με αυτές των οχημάτων, τόσο σε ποιότητα, όσο και σε ποσότητα εκτός από αυτά που κινούνται με τουρμπίνες τα οποία έχουν μεγαλύτερη εκπομπή οξειδίων του αζώτου.
- Τραίνα, Πλοία: Εάν το χρησιμοποιούμενο απ' αυτά καύσιμο είναι το βαρύ πετρέλαιο, τότε εκπέμπονται σωματίδια, οξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου.

2.2) Σταθερές πηγές. Χωρίζονται σε:

- Σημειακές: Έτσι χαρακτηρίζονται οι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες όπως οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα διυλιστήρια, τα χαλυβουργεία κ.α.
- Επιφανειακές: Είναι εκείνες οι πηγές που ενώ κάθε μια τους ξεχωριστά δεν εκπέμπει σημαντική ποσότητα ρύπων, εντούτοις όλες μαζί συμμετέχουν στη ρύπανση μιας περιοχής. Η κεντρική θέρμανση των κατοικιών και όλων γενικά των κτιρίων, καθώς και οι διάφορες βιοτεχνίες δημιουργούν προβλήματα που επιδεινώνονται εξαιτίας τόσο του ύψους από το οποίο γίνεται η εκπομπή, όσο και από το γεωγραφικό και πολεοδομικό ανάγλυφο της περιοχής, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η επαρκής διάχυση και αραίωση των διαφόρων ρύπων.

2.3 Ρυπαντικές ουσίες

Ρύπος είναι κάθε ουσία που προστίθεται άμεσα ή έμμεσα στην ατμόσφαιρα από φυσικές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες, σε ποσότητες ικανές να επηρεάσουν τη δομή, τα χαρακτηριστικά ή τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας.

Οι ρύποι διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς. Πρωτογενείς είναι οι ρύποι εκείνοι που εκπέμπονται κατευθείαν από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα (π.χ. ο καπνός, το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)). Αντίθετα, δευτερογενείς είναι οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς, είτε με χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, είτε με την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας, όπως π.χ. η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία.

Μία άλλη διαίρεση των ρύπων είναι αυτή που τους διαχωρίζει σε σταθερούς και ασταθείς. Σταθεροί ρύποι είναι αυτοί που δε συμμετέχουν σε χημικές ή φωτοχημικές αντιδράσεις (π.χ. το CO , το CO_2 , το CH_4), ενώ ασταθείς είναι αυτοί που συμμετέχουν σε χημικές ή φωτοχημικές αντιδράσεις.

Μία παράμετρος πολύ καθοριστική για τους ρύπους είναι ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και ο οποίος είναι 4 χρόνια για το CO_2 , 0.3 χρόνια για το CO , 100 χρόνια για το CH_4 , 2 χρόνια για το O_3 , 5 ημέρες για το NO_2 και το SO_2 και 4 ημέρες για το H_2S .

2.4 ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ

2.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Είναι ένας από τους κυριότερους πρωτογενείς ρύπους της ατμόσφαιρας. Στη φύση, το CO παράγεται κυρίως από την αντίδραση της ρίζας του υδροξυλίου με το μεθάνιο που παράγεται κατά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, από τη βακτηριακή δράση στους ωκεανούς, κατά τις δασικές πυρκαγιές, από τα ηφαίστεια, τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, και τη διαφυγή φυσικών αερίων από τη γη.

Κύρια πηγή του, στις αστικές περιοχές, είναι τα συμβατικής τεχνολογίας βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ενώ δευτερεύουσα πηγή του είναι η καύση πετρελαίου για τη λειτουργία συστημάτων κεντρικής θέρμανσης.

Παγκοσμίως υπολογίζεται ότι από την ανθρωπογενή δραστηριότητα εκλύονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες CO της τάξης των $7 \cdot 10^9$ Kg/έτος. Αντίθετα, από την αντίδραση του μεθανίου με τη ρίζα του υδροξυλίου εκλύονται στην ατμόσφαιρα περίπου $3 \cdot 10^{12}$ Kg/έτος του μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ από τη βακτηριακή δράση στους ωκεανούς εκλύονται περίπου 10^{11} kg/έτος.

Το CO είναι από χημική απόψη ο πιο αδρανής ρύπος της ατμόσφαιρας και η συγκέντρωσή του διαρκώς ελαττώνεται λόγω της οξειδωσής του σε CO₂, από την ηλιακή ενέργεια, με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα να είναι πολύ μικρός.

Στον άνθρωπο η επίδραση του CO γίνεται εμφανής όταν οι συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα υπερβούν κάποια όρια. Με τη διαδικασία της αναπνοής εισέρχεται μέσω του αναπνευστικού συστήματος και ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος σχηματίζοντας τη χημική ένωση ανθρακυλαιμοσφαιρίνη, η οποία παρεμποδίζει την ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς του σώματος, με αποτέλεσμα να προκαλείται δηλητηρίαση του οργανισμού με διάφορα συμπτώματα και με τελική κατάληξη το θάνατο.

2.4.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂ θεωρείται σα δείκτης συνολικού φόρτου της αέριας ρύπανσης μιας περιοχής και η μέτρησή του είναι επιβεβλημένη για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των αστικών περιοχών. Σχηματίζεται, από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που αφορούν την καύση

στερεών και υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο, αλλά και από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες που είναι της τάξης του $200 \cdot 10^6$ τόνων/έτος.

Η κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο και η καύση του άνθρακα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο τύπος αυτός της ρύπανσης είναι γνωστός με το όνομα αιθαλομίχλη (smog) και η ονομασία αυτή είναι πιθανό να προήλθε από το Λονδίνο, για να περιγράψει το μίγμα της βιομηχανικής αιθάλης (κάπνας) και της φυσικής ομίχλης (SMO-ke + fo-G). Ο επικρατέστερος ρύπος στα επεισόδια αυτά είναι το SO_2 .

Στον ανθρώπινο οργανισμό το SO_2 προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προβλήματα και υποφέρουν ιδιαίτερα όταν βρεθούν σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις SO_2 .

Υψηλές τιμές συγκεντρώσεως του SO_2 παρατηρούνται σε περιπτώσεις που οι δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασιακές μεταβολές με μικρό ύψος ανάμιξης των αέριων ρύπων, μεγάλη σχετική υγρασία, χαμηλή θερμοκρασία αέρος και ασθενής άνεμος) ευνοούν την «ανάπτυξη» επεισοδίων αιθαλομίχλης, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται γκριζόμαυρα νέφη και να απλώνονται πάνω από αστικά κέντρα με ολέθρια αποτελέσματα για την υγεία των κατοίκων τους.

Τα φυτά είναι και αυτά θύματα της ρύπανσης από το SO_2 , διότι το απορροφούν απ' ευθείας οι φυτικές επιφάνειες. Σε περιοχές που η μέση συγκέντρωση του SO_2 ξεπερνά τα $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, μπορεί να εμφανιστούν συμπτώματα υπανάπτυξης ή ακόμη και νέκρωσης σε ορισμένα φυτά. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η μηλιά, η αχλαδιά και το πεύκο, όταν η συγκέντρωση του SO_2 φθάσει τα 0.5 ppm και παραμείνει στην τιμή αυτή για 5-6 ώρες, τότε αρχίζουν να εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα δηλητηρίασής τους.

Η επίδραση του SO_2 σε διάφορα υλικά έχει δυσμενή αποτελέσματα, όπως: την αύξηση του χρόνου ξήρασης των ελαιοχρωμάτων κατά 50-100%, την αύξηση της διάβρωσης των μετάλλων (σίδηρος, χάλυβας, ψευδάργυρος), τη μείωση της ανθεκτικότητας και τον αποχρωματισμό υλικών όπως το μαλλί, το βαμβάκι, το χαρτί και το δέρμα και τέλος την αύξηση της διάβρωσης οικοδομικών υλικών.

Η οξειδωση του SO_2 και των NO_x έχει σαν συνέπεια την μετατροπή τους σε θειικό οξύ και νιτρικό οξύ αντίστοιχα τα οποία πέφτουν με τη βροχή (όξινη βροχή). Η όξινη βροχή είναι από τις σημαντικότερες οικολογικές επιπτώσεις του SO_2 και είναι υπεύθυνη, για την καταστροφή των μαρμάρινων μνημείων καθώς και των κτιρίων που βρίσκονται σε αστικές περιοχές. Στη χώρα μας αποκτά ιδιαίτερη σημασία αυτό το πρόβλημα γιατί είναι πλούσια σε τέτοια μνημεία. Στις αγροτικές περιοχές, η όξινη βροχή προκαλεί τη μεταβολή της τιμής του pH των λιμνών και ποταμών με επιπτώσεις, τη μείωση του πληθυσμού των ψαριών και των μικροοργανισμών που ζουν εκεί. Επίσης αλλοιώνει την ποιοτική σύσταση των εδαφών και προκαλεί καταστροφές στα δάση (π.χ. το 50% των δασών της πρώην Δ.Γερμανίας έχουν υποστεί βλάβες) και τις αγροτικές καλλιέργειες, επιβραδύνει επίσης την ανάπτυξη των φυτών ελαττώνοντας το ρυθμό αποσύνθεσης και διανταλλαγής θρεπτικών συστατικών μεταξύ εδάφους και φυτών.

Το SO_2 μπορεί να προκαλέσει μεταβολές και στη στρατόσφαιρα, άρα και στο κλίμα της γης. Οι αυξημένες ποσότητες SO_2 που φτάνουν στη στρατόσφαιρα προέρχονται, από εκρήξεις ηφαιστειών, ή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προκαλούν την αύξηση του στρώματος των σωματιδίων της στρατόσφαιρας, με συνέπεια την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας στην στρατόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα θα έχουμε τη στρατοσφαιρική θέρμανση και τη μείωση της ολικής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.

2.4.3 ΥΔΡΟΘΕΙΟ

Είναι αέριο, άχρωμο, με δυσάρεστη και πολύ χαρακτηριστική οσμή, η οποία γίνεται αντιληπτή, ακόμη και σε ελάχιστες ποσότητες. Παράγεται, σαν υποπροϊόν, στα διυλιστήρια πετρελαίου, στις βιομηχανίες χάρτου, πλαστικών, χρωμάτων και χρωστικών ουσιών, στα βυρσοδεψία καθώς και κατά την αποθείωση πρώτων υλών. Άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που παράγουν υδροθείο είναι η επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών λυμάτων και η ατελής καύση στερεών και υγρών καυσίμων. Είναι πολύ τοξικό, καθώς αναστέλλει τις αναπνευστικές λειτουργίες των κυττάρων. Παρατεταμένη έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις υδροθείου προκαλεί χρόνια βρογχίτιδα. Πέρα από την δυσσομία και τις δυσμενείς επιπτώσεις στην δημόσια υγεία, προκαλεί αλλοίωση των χρωμάτων, υποβαθμίζοντας έτσι την αισθητική των πόλεων.

2.4.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ

Με την ονομασία ατμοσφαιρικά αιωρήματα ή αιωρούμενα σωματίδια ή αερολύματα εννοούμε τα πολύ μικρά τεμάχια ύλης που βρίσκονται σε στερεή ή υγρή κατάσταση στην ατμόσφαιρα και επιδρούν στη διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να σχετίζονται με την ορατότητα.

Η χημική σύσταση, η μορφή και το μέγεθός τους παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και ανομοιογένεια που έχει σχέση τόσο με την αρχική τους προέλευση, όσο και από τις μεταξύ τους αντιδράσεις που δίνουν σε πολλές περιπτώσεις νέες ποικιλίες. Το μέγεθος των ατμοσφαιρικών σωματιδίων κυμαίνεται από $2 \cdot 10^{-4}$ μ μέχρι και 500 μ, σε συνδυασμό και με το ειδικό βάρος τους καθορίζεται η κίνησή τους στον ελεύθερο αέρα. Τα μικρότερα από 0.1 μ συμπεριφέρονται όπως τα μόρια και ακολουθούν τους ίδιους με αυτά νόμους κίνησης. Αντίθετα, τα μεγαλύτερα από 10 μ ακολουθούν τους νόμους της ελεύθερης πτώσης.

Ο χρόνος παραμονής των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία και κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα μέχρι και μερικές μέρες για τα πολύ μεγάλα και βαριά σωματίδια, ή και μήνες ακόμη για τα πολύ μικρά και ελαφρά.

Με βάση τη διάρκεια της αιώρησής τους, τα σωματίδια τα διακρίνουμε σε ανάπιπτα, αιωρούμενα σωματίδια και καπνό.

- α) Ανάπιπτα (σκόνη) είναι αυτά που έχουν μεγάλο μέγεθος, μικρό χρόνο αιώρησης, επικάθονται στο έδαφος και εκφράζονται σε μονάδες $gr/m^2/μέρα$ ή $τόνοι/m^2/μήνα$.
- β) Αιωρούμενα σωματίδια είναι κάθε ουσία, εκτός από το νερό, σε ελεύθερη μορφή που μεταφέρεται με αέρα και εκφράζεται ποσοτικά με συγκέντρωση $μgr/m^3$ αέρα.
- γ) Καπνός είναι μικρά σωματίδια (μαύρου χρώματος) που μεταφέρονται με τον αέρα και προκύπτουν από ατελείς καύσεις με κύριο συστατικό τον άνθρακα και άλλα καμένα ή άκαυστα υπολείμματα των καύσιμων υλικών που σχηματίζουν ορατό νέφος.

Οι επιπτώσεις από τη ρύπανση των σωματιδίων στο περιβάλλον αφορούν κυρίως την ανθρώπινη υγεία, κλιμακώνονται από απλές ενοχλήσεις, ερεθισμό και δάκρυα των ματιών, δυσχέρεια αναπνοής, βήχα κ.τ.λ. μέχρι βαριά νοσήματα των αναπνευστικών οργάνων. Οι βλάβες στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από το μέγεθος, τη χημική σύσταση, τη διαλυτότητα των σωματιδίων και την παρουσία άλλων ρύπων.

Άλλες επιδράσεις των σωματιδίων, που αξίζει να αναφερθούν, είναι:

- η μείωση της ορατότητας που προκαλείται σε συνδυασμό και με κατάλληλες μετεωρολογικές κλιματολογικές συνθήκες
- η φθορά υλικών και μνημείων
- οι ζημιές στα φυτά και στα ζώα
- η ρύπανση του εδάφους και μέσω αυτής η ρύπανση των υδάτινων πόρων
- η αισθητική αλλοίωση του περιβάλλοντος.

2.4.5 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Με τον όρο οξειδία του αζώτου (NO_x) ορίζονται το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) που αλληλοσηματίζονται στην ατμόσφαιρα. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο και άοσμο αέριο, ενώ το διοξείδιο του αζώτου έχει ερυθροκάστανο χρώμα και διαπεραστική οσμή.

Η σημασία τους για την ατμόσφαιρα άρχισε να γίνεται γνωστή στην αρχή της δεκαετίας του 1970 και προκάλεσε αναστάτωση. Συνέπεσε με την προσπάθεια που γινόταν για την κατασκευή εμπορικών υπερηχητικών αεροπλάνων που πετούσαν στην στρατόσφαιρα (Concorde και Tupoliev). Οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι εκπομπές του NO που προέρχονταν από τους κινητήρες των αεροπλάνων αυτών, είναι δυνατόν να προκαλέσουν ρύπανση της στρατόσφαιρας. Η παραγωγή των NO_x στην ατμόσφαιρα γίνεται κατά κύριο λόγο στην τροπόσφαιρα από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται η μικροβιολογική δράση του εδάφους, οι αστραπές καθώς και η φωτόλυση νιτρικών αλάτων στην επιφάνεια των ωκεανών. Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η καύση ορυκτών καυσίμων, οι βιομηχανικές κατεργασίες, η καύση βιομάζας, τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.

Η πιο σπουδαία πηγή εκπομπής NO είναι το αυτοκίνητο, επειδή στους κινητήρες εσωτερικής καύσης αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία τους. Το 1/15 του ολικού NO που εκλύεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Ένα από τα κύρια προβλήματα που δημιουργούνται είναι ο σχηματισμός διαφόρων οξειδωτικών ουσιών που δημιουργούν τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Τυπική φωτοχημική αιθαλομίχλη σχηματίζεται σε ζεστό, ηλιόλουστο καιρό και χαρακτηρίζεται από ομίχλη, σχηματισμό όζοντος, ερεθισμό ματιών και καταστροφή βλάστησης.

Από τα οξειδία του αζώτου, πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι το NO_2 είναι 4 φορές πιο

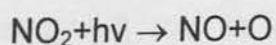
τοξικό από το NO. Το NO₂ είναι τοξικό αέριο, προσβάλλει τους πνεύμονες και προκαλεί πνευμονικό οίδημα. Για τον άνθρωπο, η έκθεση του σε συγκεντρώσεις NO₂ της τάξης των 100 ppm για χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγα λεπτά μέχρι μία ώρα, προκαλεί έντονο ερεθισμό στους πνεύμονες που διαρκεί 6-8 εβδομάδες. Η έκθεση του ανθρώπου όμως σε συγκεντρώσεις NO₂ της τάξης των 150-200 ppm, προκαλεί συνήθως το θάνατο. Όταν η συγκέντρωση του NO₂ υπερβαίνει τα 100 ppm γίνεται θανατηφόρα για τα περισσότερα ζώα και το 90% των θανάτων προέρχεται από πνευμονικό οίδημα.

Η επίδραση των οξειδίων του αζώτου είναι σημαντική και στα φυτά. Όταν αυτά εκτεθούν σε ατμόσφαιρα με υψηλές συγκεντρώσεις NO₂, εμφανίζουν κηλίδες στα φύλλα και οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να εξελιχθούν σε σημεία νέκρωσης.

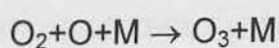
Στην ατμόσφαιρα το διοξείδιο του αζώτου μετασχηματίζεται σε HNO₃ (νιτρικό οξύ) που προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών και νιτροποίηση των μαρμάρων των μνημείων, με αποτέλεσμα την αποσάρθρωσή τους.

2.4.6 OZON

Το όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο, άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή και με ισχυρή οξειδωτική δράση. Σχηματίζεται κατά τη φωτόλυση του NO₂ σε μήκη κύματος $\lambda < 380 \text{ nm}$,



Το παραγόμενο ατομικό οξυγόνο (O) αντιδρά πολύ γρήγορα με το οξυγόνο (O₂) του αέρα για να σχηματισθεί το όζον (O₃)



όπου M είναι ένα τρίτο μόριο. Το παραγόμενο όζον στη συνέχεια υπεισέρχεται σε ολόκληρη σειρά αντιδράσεων στις οποίες μεγάλη σημασία έχουν και οι εκλυόμενοι υδρογονάνθρακες.

Ο μηχανισμός των χημικών αντιδράσεων για το σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης είναι πολυσύνθετος και πολύπλοκος.

Οι διαδικασίες σχηματισμού του συστήματος $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$ δημιουργούν τη λεγόμενη φωτοχημική αιθαλομίχλη, η οποία οφείλεται στην έντονη απορρόφηση του κυανού και κίτρινου τμήματος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από το NO_2 . Το όζον σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά τη διάρκεια του απογεύματος ο σχηματισμός οξειδωτικών αρχίζει να επιβραδύνεται και κατά τη διάρκεια της νύχτας όλες οι φωτοχημικές αντιδράσεις σταματούν. Στις αστικές περιοχές το O_3 που έχει σχηματισθεί καταστρέφεται όταν αντιδρά με το NO που εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα. Στις μη αστικές περιοχές, όπου δεν υπάρχει εκπομπή NO , το όζον καταστρέφεται δραστικά κατά την επαφή του με την επιφάνεια της γης. Στην περίπτωση αυτή η καταστροφή του όζοντος είναι μεγαλύτερη κατά την επαφή του με την ξηρά από ότι με τη θάλασσα ή το χιόνι.

Η εποχική μεταβολή του όζοντος είναι απ'ευθείας ανάλογη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του αέρα, δηλαδή εμφανίζει ένα μέγιστο το καλοκαίρι και ένα ελάχιστο το χειμώνα.

Η ημερήσια πορεία του όζοντος είναι απ'ευθείας ανάλογη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και εμφανίζει μέγιστο γύρω στο μεσημέρι. Το ελάχιστο των συγκεντρώσεων του O_3 εμφανίζεται το μεν καλοκαίρι στις 07:00 L.S.T. το πρωί ενώ το χειμώνα στις 09:00 L.S.T. Η φωτοχημική παραγωγή του το καλοκαίρι διαρκεί μέχρι τις 12:00 L.S.T. και ακολουθείται από μία περίοδο στην οποία οι υψηλές συγκεντρώσεις του αερίου παραμένουν σταθερές μέχρι και τις 18:00 L.S.T., ενώ το χειμώνα δεν παρατηρείται έντονη φωτοχημική παραγωγή, όπως και αναμένεται.

2.4.7 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ

Με τον όρο υδρογονάνθρακες (HC) εκφράζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο και είναι σημαντικοί ρυπαντές της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό βέβαια με φωτοχημικά οξειδωτικά. Οι πιο επιβλαβείς είναι οι αέριοι υδρογονάνθρακες και οι πτητικοί (δηλαδή εκείνοι που μπαίνουν στην ατμόσφαιρα και παραμένουν σ'αυτή επί τόσο χρονικό διάστημα, όσο χρειάζεται για να πάρουν μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις).

Οι υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα προέρχονται από φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι κυριότερες πηγές υδρογονανθράκων που προέρχονται από φυσικές διεργασίες είναι:

- α₁. Η βιολογική αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών.
- α₂. Η φυσική έκλυση αερίων και υγρών υδρογονανθράκων από φυσικές πηγές.
- α₃. Τα φυτά που εκλύουν μεγάλες ποσότητες.
- α₄. Οι βιολογικές και γεωθερμικές διεργασίες.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που αποδίδουν στην ατμόσφαιρα υδρογονάνθρακες είναι:

β₁. Οι διαρροές ή οι απώλειες που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά πετρελαιοειδών και κατά την αποθήκευσή τους σε υπαίθριες δεξαμενές και σε δεξαμενές πρατηρίων διακίνησης υγρών καυσίμων.

β₂. Κύρια πηγή διαφυγής υδρογονανθράκων, στις πόλεις, είναι το αυτοκίνητο. Επίσης διαφυγή υδρογονανθράκων παρατηρείται κατά την παρασκευή, διακίνηση και χρήση οργανικών διαλυτών.

Αποτέλεσμα όλων αυτών των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, είναι ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας των πόλεων με σημαντικές ποσότητες υδρογονανθράκων. Η παρουσία

των NO-NO₂-O₃ και οι χημικές αντιδράσεις με υδρογονάνθρακες παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί υφίστανται μέσα στην ατμόσφαιρα χημικές και φωτοχημικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα να παράγονται τα φωτοχημικά οξειδωτικά. Η οξείδωση των υδρογονανθράκων παράγει μεγάλη ποικιλία ενώσεων που σχηματίζουν αεροζόλ και ενώσεις που ερεθίζουν τα μάτια. Ένα τυπικό παράδειγμα που αποτελεί «συστατικό» της φωτοχημικής αιθαλομίχλης είναι το PAN (Νιτρικό υπεροξυακετύλιο) που είναι φωτοχημικό οξειδωτικό και προκαλεί ερεθισμό των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος των ανθρώπων (σε συγκεντρώσεις 0.3 mgr/Kg), επίσης προκαλεί καταστροφή των φύλλων (σε συγκεντρώσεις 0.01 mgr/Kg).

Ο λόγος που οδήγησε στην ανακάλυψη του PAN στη δεκαετία του 1950 ήταν η προσπάθεια να βρεθεί το συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης που προκαλούσε το κιτρίνισμα των φύλλων σε διάφορα είδη που βρίσκονταν στο λεκανοπέδιο του Los Angeles. Από έρευνες που έχουν γίνει έχει διαπιστωθεί ότι τα τελευταία χρόνια η αύξηση της συχνότητας των κρουσμάτων του καρκίνου του δέρματος, συνδέεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων του PAN και άλλων φωτοοξειδωτικών.

2.4.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η απορρόφηση φωτεινής ενέργειας από τα χημικά μόρια προκαλεί τις λεγόμενες φωτοχημικές αντιδράσεις που συνήθως δε συμβαίνουν στις κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το χαρακτηριστικό της φωτοχημικής ρύπανσης είναι η παρουσία σημαντικών συγκεντρώσεων οξειδωτικών ουσιών, που επιδρούν στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων, καταστρέφουν τα υλικά και επηρεάζουν δυσμενώς τις φυτικές καλλιέργειες.

Επιδράσεις στον άνθρωπο και στα ζώα: Σε κατοικημένες περιοχές τα φωτοοξειδωτικά προκαλούν μείωση της ορατότητας, ερεθισμό των ματιών και δάκρυα,

αύξηση των κρουσμάτων άσθματος, μείωση της απόδοσης των αθλητών. Ο σημαντικότερος αντιπρόσωπος των φωτοχημικών οξειδωτικών είναι το όζον και έχει μελετηθεί η επίδρασή του στον άνθρωπο. Συγκεντρώσεις όζοντος στον αέρα μέχρι 0.3 ppm προκαλούν ενοχλήσεις στη μύτη και στο φάρυγγα. Συγκεντρώσεις από 1 μέχρι 30 ppm, για 2 ώρες, προκαλούν έντονη κόπωση και έλλειψη συντονισμού στις κινήσεις. Όταν η συγκέντρωση φτάσει στα 90 ppm, για χρόνο παραμονής 2 ώρες, προκαλείται πνευμονικό οίδημα και θάνατος. Στα ζώα, το όζον συμπεριφέρεται όπως η ιονίζουσα ακτινοβολία. Η δράση του αποδίδεται στην επιταχυνόμενη ξήρανση και βλάβη των χρωματοσωμάτων. Παρατηρήθηκε σε εργαστηριακά πειραματόζωα, ελάττωση της αντίστασης των οργανισμών τους σε ασθένειες, εξαιτίας της παρουσίας όζοντος.

Επιδράσεις στα φυτά: Οι επιδράσεις των οξειδωτικών παρατηρήθηκαν σε φυτείες και καλλιέργειες μεγάλων εκτάσεων και τα δυσμενή αποτελέσματα ήταν είτε η παραγωγή προϊόντων μειωμένης ποιότητας, ή μειωμένης ποσότητας ή ακόμη και η ολοκληρωτική καταστροφή που προκαλείται από την πλήρη κατάρρευση των κυττάρων. Σε περιπτώσεις που οι καλλιέργειες εκτέθηκαν σε συγκεντρώσεις όζοντος $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm), για χρονικό διάστημα 8 ωρών, παρατηρήθηκε καταστροφή ευαίσθητων καλλιεργειών. Γενικά, επειδή τα φυτά είναι ευαίσθητα στο PAN και το O_3 , χρησιμεύουν σαν δείκτες φωτοχημικής ρύπανσης μιας περιοχής, μετά από παρατήρηση των εμφανιζομένων «τραυμάτων» πάνω στα φύλλα τους.

Επιδράσεις στα υλικά: Η πιο χαρακτηριστική επίδραση των οξειδωτικών ουσιών στα υλικά είναι η παλαίωση του ελαστικού (καουτσούκ). Για την ελάττωση της δυσμενούς αυτής δράσης κατά την κατασκευή των ελαστικών προστίθενται αντιοζονοτικές ουσίες ή κεριά. Επίσης, τα φωτοχημικά οξειδωτικά αποχρωματίζουν τα διάφορα χρώματα και ελαττώνουν την ανθεκτικότητα των υφασμάτων, ιδιαίτερα των συνθετικών σταθερής ίνας, βαμβακιού και πολυεστέρων.

3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Σαν εκπομπή αναφέρεται το ποσό της ρύπανσης που διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα από την έξοδο μιας πηγής, π.χ. η καμινάδα ενός εργοστασίου. Η εκπομπή εκφράζεται σε μονάδες παροχής, συνήθως τόνοι ανά ημέρα, ή χιλιόγραμμα ανά ώρα. Σαν συγκέντρωση αναφέρεται το ποσό της ρύπανσης που δέχεται κάποιος αποδέκτης. Μπορεί επίσης να εκφραστεί σε μάζα ρυπαίνουσας ουσίας σε δεδομένο όγκο αέρα. Η εκπομπή εκφράζεται σε mg/m^3 , σε ppm , ή σε ppb .

Αν και, κατά κανόνα, ισχυρές εκπομπές σημαίνουν και ισχυρές συγκεντρώσεις, η σύνδεση των δύο αυτών μεγεθών παρουσιάζει αρκετές ιδιομορφίες και η διάκρισή τους είναι αναγκαία. Γενικά, οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες από τις εκπομπές, γεγονός που οφείλεται βασικά στη διασπορά των ρύπων από τη στιγμή που θα διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα μέχρι τη στιγμή που θα φτάσουν στους αποδέκτες. Τα φαινόμενα της διασποράς επηρεάζονται από ένα μεγάλο πλήθος φυσικών, χημικών και τεχνικών παραγόντων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι:

- Η φύση της ρυπαίνουσας ουσίας: Είναι αυτή που καθορίζει ουσιαστικά την ικανότητά της να διαχέεται, να παραμένει χημικά σταθερή και να αφομοιώνεται από την ατμόσφαιρα ή το έδαφος.
- Η θέση και τα λειτουργικά στοιχεία της πηγής: Η θέση της πηγής σε σχέση με τους αποδέκτες της ρύπανσης αποτελεί μια σοβαρή παράμετρο στη σχέση εκπομπή - συγκέντρωση. Γενικά, μεγάλη οριζόντια απόσταση από την πηγή σημαίνει μεγαλύτερη διασπορά και αραίωση της ρυπαίνουσας ουσίας, άρα μικρότερες συγκεντρώσεις ρύπανσης στους αποδέκτες. Το ίδιο ισχύει όταν μεταξύ πηγής και αποδέκτη υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά, όμως στην περίπτωση αυτή η οριζόντια απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί ο ρύπος από την πηγή είναι μεγαλύτερη.

- Οι μετεωρολογικές συνθήκες: Ο παράγοντας που επιδρά περισσότερο από όλους στη διασπορά των ρύπων είναι η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου. Η συγκέντρωση που δημιουργείται σε ένα σημείο του χώρου από μία δεδομένη πηγή ρύπανσης είναι αντιστρόφως ανάλογη της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου. Από τους άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες, η βροχή και η υγρασία συντελούν στην απορρόφηση και την κατακρήμνιση πολλών αερίων και στερεών ρύπων. Τέλος, η θερμοκρασία έχει μικρή, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους μετεωρολογικούς παράγοντες, επίδραση στην διασπορά των ρύπων. Αντίθετα έχει καθοριστικό ρόλο στα μεγέθη των αστικών εκπομπών μια και με αυτή συνδέεται άμεσα η διάρκεια λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.
- Η τοπογραφία της περιοχής: Σε ευρύτερη γεωγραφική κλίμακα, μία περιοχή που περιορίζεται από βουνά, ή μία περιοχή με διάσπαρτους λόφους και ψηλά κτίρια αποτελεί γενικά πεδίο συσσώρευσης ρύπων. Αντίθετα, μια περιοχή ανοιχτή και ελεύθερη ευνοεί τη διασπορά τους. Και στις δύο περιπτώσεις παίζουν μεγάλο ρόλο τόσο η θέση που έχουν στην περιοχή οι πηγές και οι αποδέκτες, όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.
- Η ύπαρξη άλλων ρύπων: Η ταυτόχρονη ύπαρξη ρύπων με διαφορετική σύσταση δημιουργεί νέους ρύπους με ιδιότητες διασποράς, διαφορετικές από τις ιδιότητες των αρχικών συστατικών. Η συνύπαρξη ενός αερίου με άλλους ρύπους οδηγεί σε χημικές αντιδράσεις, που δίνουν σαν προϊόντα αέρια ή σωματίδια με μεγαλύτερο βάρος. Αυτά τα προϊόντα παρουσιάζουν μικρότερη ακτίνα διασποράς, σε σχέση με τους αρχικούς ρύπους, αλλά μεγαλύτερες ενδιάμεσες συγκεντρώσεις.
- Η θέση του αποδέκτη: Αξιολογείται σε σχέση με τη θέση των πηγών ρύπανσης, την τοπογραφία, τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου.

4. ΑΙΧΜΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ

Αιχμή ρύπανσης θεωρείται ότι έχουμε όταν η τιμή της συγκέντρωσης ενός ρύπου, που μετράμε σε κάποιο αποδέκτη, υπερβαίνει τις συνηθισμένες μεγάλες τιμές συγκεντρώσεων ρύπων που έχουν μετρηθεί σε αυτόν τον αποδέκτη.

Με τον όρο θερμοκρασιακή αναστροφή εννοείται το μετεωρολογικό φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται θερμό στρώμα αέρα σε κάποιο ύψος πάνω από το έδαφος, με αποτέλεσμα να διακόπτεται το ανοδικό ρεύμα που οφείλεται στην ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος. Το σώμα αναστροφής, όπως ονομάζεται, αποτελεί μία οροφή που εμποδίζει τη διάχυση των αέριων ρύπων πάνω από αυτήν και δημιουργεί εγκλωβισμό τους σε περιορισμένο ατμοσφαιρικό χώρο, με τελική συνέπεια την αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων και δημιουργία προβλημάτων στην υγεία των κατοίκων της περιοχής.

Η θερμοκρασιακή αναστροφή χαρακτηρίζεται από το πάχος, το ύψος, την ένταση και τη διάρκειά της. Ειδικότερα διακρίνουμε, αναστροφές που δημιουργούνται κατά τις νυχτερινές ώρες, αναστροφές που έχουν σαν αίτιο την τοπογραφία της περιοχής και αναστροφές που δημιουργούνται από μεταφορά θερμών ή ψυχρών αέριων μαζών από μεγάλες αποστάσεις.

Δε θα πρέπει να παραβλέψουμε και την περίπτωση της θαλάσσιας αύρας, δηλαδή του ανέμου, ο οποίος αναπτύσσεται σε παράκτιες περιοχές και πνέει από τη θάλασσα ή από τη λίμνη προς την «ξηρά» κατά τη διάρκεια της ημέρας και προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας της, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας ο μηχανισμός αντιστρέφεται. Αυτή λοιπόν η κίνηση συντελεί στη συνεχή επανακυκλοφορία του ρυπασμένου αέρα και στην προοδευτική αύξηση του φόρτου ρύπανσης με την πάροδο του χρόνου.

5. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ο καθαρισμός της ατμόσφαιρας από τους ρύπους γίνεται με διάφορους τρόπους όπως:

α) Η δράση της βαρύτητας, που απομακρύνει από την ατμόσφαιρα σωματίδια που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 1μm και το μεταφέρει όπως ακριβώς είναι στην επιφάνεια της γης, ή σε υλικά που βρίσκονται πάνω στη γη. Τα σωματίδια που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη των 10 μm, αποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους σχεδόν αμέσως μετά την αποδέσμευσή τους, ενώ αντίθετα τα μικρότερα, επειδή υφίστανται την επίδραση της διάχυσης, επιβραδύνουν την απόθεσή του.

β) Η ξηρή απόθεση, που προκαλείται από τις αναταρακτικές κινήσεις που γίνονται μέσα στην ατμόσφαιρα, έχει σαν αποτέλεσμα την καθοδική ροή των ρύπων προς τη γη.

γ) Η υγρή απόθεση, που προκαλείται από τις σταγόνες της βροχής και από τα υδροσταγονίδια των νεφών που απορροφούν τους υδρόφιλους ρύπους και όταν δίνουν βροχή τους συμπαρασύρουν στη γη.

6. ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Όταν μία «ισχυρή - χαμηλή» αναστροφή διαρκέσει για αρκετό χρονικό διάστημα, τότε οι αιχμές ρύπανσης είναι δυνατόν να φτάσουν σε υπερβολικά υψηλές τιμές. Παράλληλα, από το πλήθος, τη μεγάλη ποσότητα και τη συνύπαρξη ρύπων δημιουργούνται συνεχώς, με χημικές αλληλεπιδράσεις, νέες ποικιλίες ρύπων που οι ποσότητές τους υπερβαίνουν ορισμένες φορές και αυτές των πρωτογενών. Η κατάσταση αυτή οδηγεί τελικά στη δημιουργία συσσωρευμένης ρύπανσης με δευτερογενή χαρακτήρα, η οποία αιωρείται με τη μορφή αχλύδας (νέφους) σκούρου χρώματος επάνω από την περιοχή της αναστροφής. Αναλόγως της σύστασής του, το νέφος αυτό ονομάζεται φωτοχημικό νέφος ή νέφος αιθαλομίχλης.

Ο ρόλος των θερμοκρασιακών αναστροφών στη δημιουργία υψηλών τιμών ρύπανσης είναι καθοριστικός διότι, οι μεν νυχτερινές θερμοκρασιακές αναστροφές είναι υπεύθυνες για τη συσσώρευση πρωτογενών ρύπων, οι δε μεσημεριανές είναι υπεύθυνες για τη συσσώρευση δευτερογενών ρύπων.

Στην πράξη, η αντιμετώπιση των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται με πρόβλεψη-εξακρίβωση των στοιχείων της θερμοκρασιακής αναστροφής, με παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των διαφόρων ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω του δικτύου και κεντρικής τηλεπικοινωνιακής μονάδας για την επεξεργασία των πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων για περιορισμό ή και διακοπή της λειτουργίας διαφόρων πηγών. Συγχρόνως, λαμβάνονται μέτρα προφύλαξης του πληθυσμού, αυξάνει η ετοιμότητα των πρώτων βοηθειών και τέλος ενεργοποιούνται τα Μ.Μ.Ε. για την αντιμετώπιση της κατάστασης. Το σύστημα που θυμίζει κατά κάποιο τρόπο πολεμική προπαρασκευή, ονομάζεται «σύστημα συναγερμού».

Το 1982 η Ελληνική Κυβέρνηση αποφάσισε ότι, όταν οι συγκεκριμένοι ρύποι θα έφθαναν σε επίπεδα που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, θα λαμβάνονταν έκτακτα μέτρα. Τα έκτακτα αυτά μέτρα συνίστανται τόσο στον περιορισμό της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων, όσο και στον περιορισμό της λειτουργίας όλων των πηγών ρύπανσης, με σκοπό τον περιορισμό των αιχμών ρύπανσης.

Ο ρόλος των βραχυπρόθεσμων αυτών περιορισμών είναι η πρόληψη επιδείνωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά τη διάρκεια των ημερών που επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, χωρίς όμως να λύνεται το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Με βάση τις προτάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.) καθώς και αξιολογήσεις Ελλήνων Καθηγητών και εμπειρογνομόνων, η Ελληνική Πολιτεία έχει καθορίσει όρια για τις τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων και σε περιπτώσεις υπερβάσεως

των ορίων αυτών, προβαίνει στη λήψη περιοριστικών μέτρων, με σκοπό την προάσπιση της δημόσιας υγείας.

Τα όρια αυτά εμφανίζονται στον Πίνακα 3. Τα διάφορα στάδια κηρύσσονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν (ή προσεγγίσουν) τις τιμές που εμφανίζονται στον Πίνακα 3, ταυτόχρονα δε υπάρχει πρόβλεψη για μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση (ή αύξηση) των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων για τις επόμενες ώρες ή την επόμενη μέρα.

Ρύπος	Καπνός(1) μgr/m ³	SO ₂ (1) μgr/m ³	NO ₂ (2) μgr/m ³	CO ₃ (3) μgr/m ³	O ₃ (2) μgr/m ³
Στάδιο προσέγγισης	250	250	400	20	180
Στάδιο λήψης μέτρων Α' βαθμίδας	300	300	500	25	360
Στάδιο λήψης μέτρων Β' βαθμίδας	400	400	700	35	500

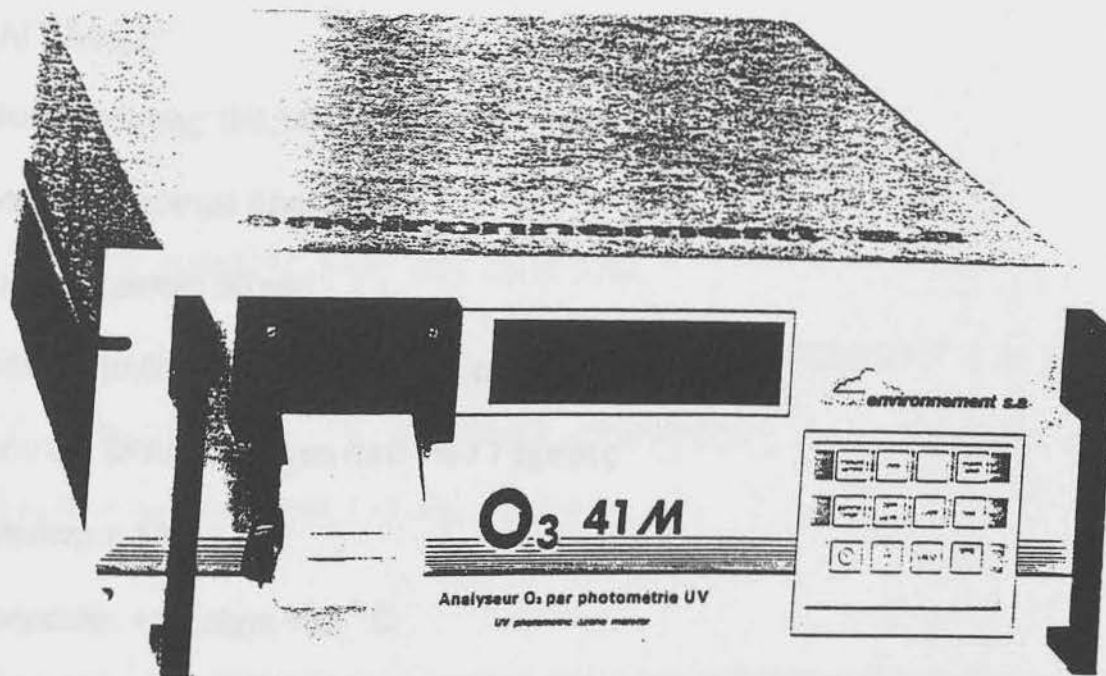
Πίνακας 3. Όρια εκτάκτων μέτρων, όπου (1): σε 24-ωρη βάση, (2): σε ωριαία βάση και (3):σε 8-ωρη βάση (ΠΕΡΠΑ, 1997).

Αν σε οποιοδήποτε σταθμό της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας οι τιμές συγκέντρωσης οποιοδήποτε ρύπου υπερβούν κατά 50% τη διαφορά μεταξύ του σταδίου λήψης έκτακτων μέτρων Α' βαθμίδας και του σταδίου προειδοποίησης του συγκεκριμένου ρύπου, τότε έχουμε επεισόδιο ρύπανσης για το συγκεκριμένου ρύπου.

A. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ

A1. ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος προτείνουμε τον αναλυτή όζοντος O₃41M της ENVIROMENTAL CORPORATION.



Ο αναλυτής O₃41M, είναι ένα νέο μοντέλο και περιλαμβάνει:

- Απόλυτης ακρίβειας σύστημα μέτρησης βασιζόμενο στο νόμο των Beer-Lambert.
- Πληκτρολόγιο και αλφαριθμητική οθόνη εμφάνισης αποτελεσμάτων (μεγάλης ακρίβειας και σταθερότητας).
- Ενσωματωμένο σύστημα καταγραφής (RS 232 σύνδεση με IBM ή άλλο PC).

Εκτύπωση ιστογραμμάτων καθώς και γραμμικών γραφημάτων.

Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στο φάσμα απορρόφησης του όζοντος, το οποίο παρουσιάζει μέγιστο στα 253.7 nm.

Το δείγμα αέρα, το οποίο εισέρχεται στον αναλυτή με τη βοήθεια μιας αντλίας που είναι τοποθετημένη στο τέλος του κυκλώματος, περνά πρώτα από ένα φίλτρο σκόνης από teflon και στη συνέχεια οδηγείται στο θάλαμο μέτρησης, απευθείας ή αφού πρώτα περάσει από το ειδικό φίλτρο όζοντος.

Η συγκέντρωση του όζοντος υπολογίζεται με τη χρήση του νόμου των Beer-Lambert.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Κλίμακες μέτρησης: 0/0,1/0,25/1 ppm (0-10 ppm)
- Ελάχιστο ανιχνεύσιμο όριο: 1 ppm
- Χρόνος απόκρισης: 50 sec
- Μετατόπιση μηδενός: λιγότερο από 1 ppb / 7 ημέρες
- Μετατόπιση SPAN: λιγότερο από 1% / 7 ημέρες
- Γραμμικότητα: 1%
- Θερμοκρασία: +10 μέχρι +35 ° C
- Μονάδες: ppm

Ο δεύτερος προτεινόμενος αναλυτής όζοντος είναι ο 100S-AH* της DASIBI ENVIRONMENTAL CORPORATION. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει:

- Μικροϋπολογιστή για αυτόματο έλεγχο όλων των λειτουργιών (Zilog -80 -Based).
- Αυτόματη διόρθωση θερμοκρασίας και πίεσης, της συγκέντρωσης του όζοντος.
- Ρύθμιση ZERO και SPAN.

Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται και πάλι στην απορρόφηση της UV ακτινοβολίας, με τη χρήση φίλτρου καταστροφής του όζοντος. Η συγκέντρωση του όζοντος υπολογίζεται από τον νόμο των Beer - Lambert με τη βοήθεια του μικροεπεξεργαστή.

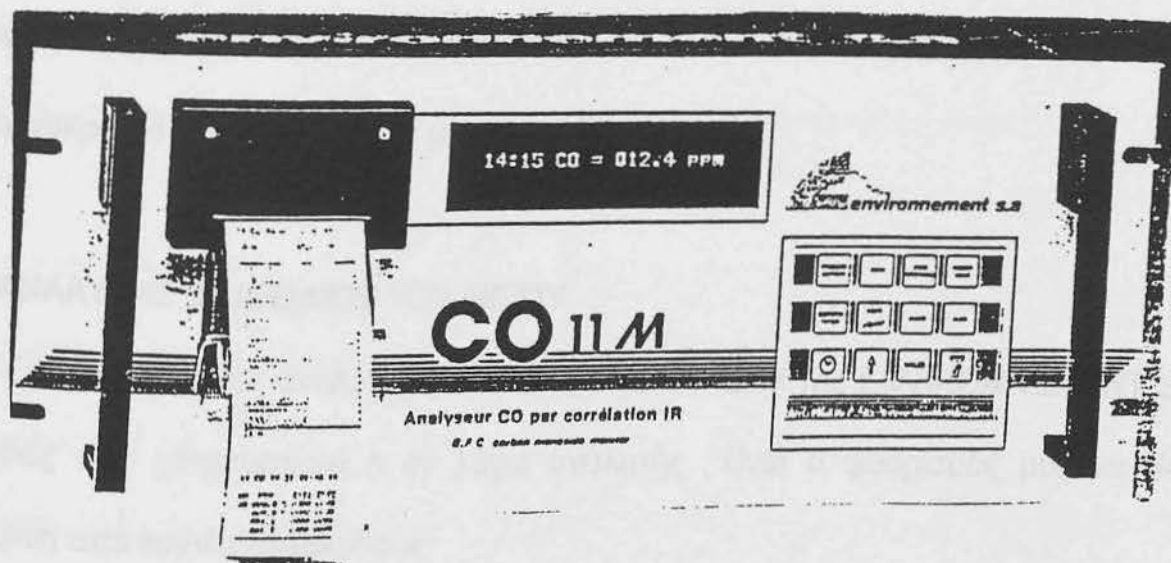
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Κλίμακες Μέτρησης: -1 ppm
- Θόρυβος: ± 0.001 ppm
- Χρόνος Απόκρισης: 50 sec
- Γραμματικότητα: ± 0.001

- Θερμοκρασία: 0 - 45 °C
- Μονάδες: ppm

A2. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο προτεινόμενος αναλυτής είναι ο CO11M της ENVIRONMENT S.A. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αρχή της επιλεκτικής απορρόφησης των υπέρυθρων ακτινών σε συνδυασμό με την συσχέτιση του αέριου φίλτρου.



Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αναλυτή που οδήγησαν και στην επιλογή του είναι ότι αποτελείται από απλά και αξιόπιστα εξαρτήματα, είναι ανεπηρέαστος από κρούσεις και κραδασμούς, έχει ευαίσθητη και ειδική μέτρηση, έχει πληκτρολόγιο και αλφαριθμητική οθόνη ενδείξεων για εύκολο προγραμματισμό, έλεγχο και συντήρηση, έλεγχο και αυτόματη διόρθωση θερμοκρασίας και πίεσης μέσω μικροϋπολογιστή, εσωτερική μνήμη των μετρούμενων τιμών, σύνδεση για τηλεμετάδοση (RS232, δίκτυο ΡΤΤ, σύνδεση με PC), έκδοση ιστογραμμάτων και γραφικών παραστάσεων σε προαιρετικά ενσωματωμένο εκτυπωτή.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- κλίμακες μέτρησης: 10/25/50/100 ppm (προαιρετικά 200 ppm)
- Θόρυβος: 0.05 ppm
- Ελάχιστο ανιχνεύσιμο όριο: 0.1 ppm
- Χρόνος απόκρισης (από 0 ως 90 %): 40 sec
- Μονάδες: ppm ή mg/m^3
- Μετατόπιση μηδενός: ± 0.2 ppm / 15 ημέρες, με αυτόματη διόρθωση
- Μετατόπιση span: ± 1 % / 15 ημέρες, στην πλήρη κλίμακα των 50 ppm
- Γραμμικότητα: ± 1 %
- Θερμοκρασία λειτουργίας: +10 μέχρι +35 °C.

A3. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Ο προτεινόμενος αναλυτής για το SO_2 είναι AF 21M της ENVIRONNEMENT S.A. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί ο εν λόγω αναλυτής είναι ο φθορισμός μορίων SO_2 με διέγερση από λυχνία υπεριώδους.



Ο αναλυτής είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΕ και περιλαμβάνει:

- Ενσωματωμένο σύστημα παραγωγής αέρα για το μηδενισμό του αναλυτή.
- Ενσωματωμένο σύστημα παραγωγής πρότυπου αερίου (SPAN), με φυσίγγιο διαπερατότητας SO₂ διάρκειας 3 χρόνων, για τη βαθμονόμηση του αναλυτή.
- Σύστημα καταστροφής υδρογοναθράκων του δείγματος.
- Μικρουπολογιστή για συνεχή έλεγχο όλων των λειτουργιών του και ένδειξη συγκεκριμένης βλάβης (DIAGNOSTICS).
- Πληκτρολόγιο προγραμματισμού
- Αυτόματη βαθμονόμηση, ρύθμιση ZERO και SPAN, σε προγραμματιζόμενους χρόνους.
- Ενσωματωμένος εκτυπωτής με δυνατότητα καταγραφής και εκτύπωσης.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Κλίμακες μέτρησης: 0.1/0.25/0.5/1 και 10 ppm
- Θόρυβος: 0.5 ppb
- Ελάχιστο ανιχνεύσιμο όριο: 1 ppb
- Χρόνος απόκρισης (από 0 ως 90 %): 90 sec
- Μετατόπιση μηδενός: 1 ppb / 24 ώρες
- Μετατόπιση βαθμονόμησης με αέριο γνώστης συγκέντρωσης: 1 % / εβδομάδα
- Γραμμικότητα: ±1%
- Μονάδες: ppm ή mg/m³

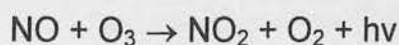
A4. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των NO, NO_x και NO₂ προτείνουμε τον αναλυτή

AC 31M της ENVIRONNEMENT S.A. Ο AC 31M είναι αναλυτής νέας γενιάς με

μικροεπεξεργαστή. Είναι ένα όργανο με υψηλή μετρολογία διπλού καναλιού, το οποίο περιέχει:

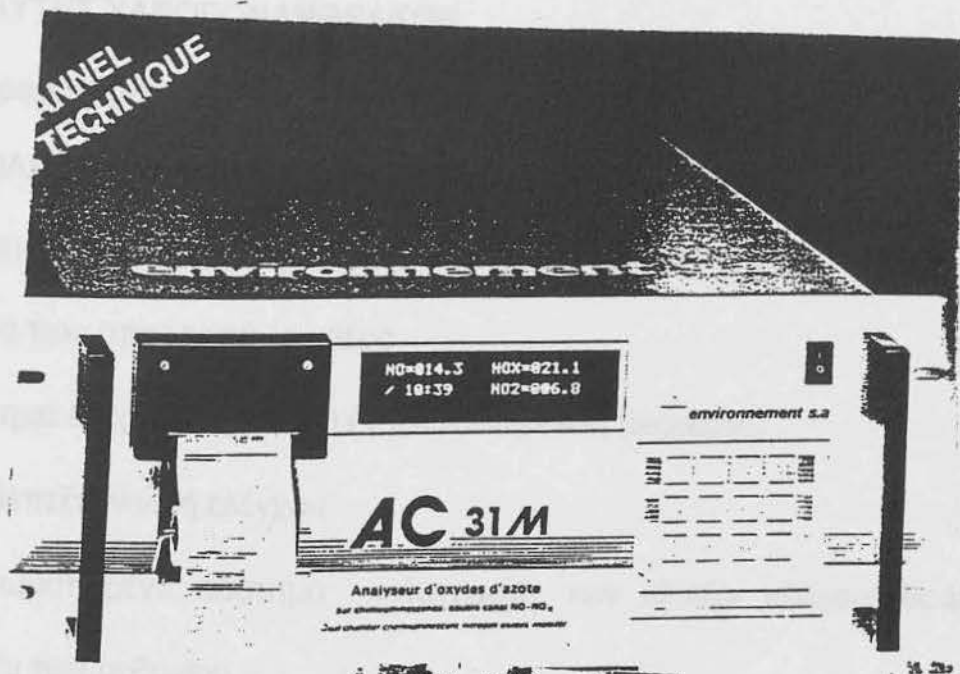
- Ένα απλό φωτοπολλαπλασιαστή για ταυτόχρονη και συνεχή μέτρηση των NO, NO_x με τη μέθοδο της χημειφωταύγειας καθώς και του NO₂ με τη μέθοδο της διαφόρισης.
- Πληκτρολόγιο και αλφαριθμητική οθόνη για εύκολο προγραμματισμό, έλεγχο και βοήθεια στη συντήρηση του οργάνου.
- Συνεχή απεικόνιση των τιμών των NO, NO_x και NO₂.
- Αυτόματα προγραμματιζόμενο χρόνο απόκρισης.
- Ενσωματωμένο σύστημα καταγραφής των τιμών για πάνω από 15 ημέρες.
- Προαιρετική δημιουργία και εκτύπωση ιστογραμμάτων και γραφικών παραστάσεων. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου στηρίζεται στο φαινόμενο της χημειφωταύγειας: Δείγμα αέρα εισέρχεται σε δύο θαλάμους. Στον πρώτο θάλαμο μετατρέπεται το NO σε NO₂ σύμφωνα με την αντίδραση:



Το όζον της παραπάνω αντίδρασης παράγεται από μία γεννήτρια όζοντος. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την αποδιέγερση του NO₂ ανιχνεύεται από το φωτοπολλαπλασιαστή και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του NO.

Στο δεύτερο θάλαμο το NO₂ που υπάρχει στον αέρα μετατρέπεται σε NO, το οποίο οδηγείται σε νέο θάλαμο αντίδρασης και επαναλαμβάνεται η προηγούμενη αντίδραση. Από τη διαφορά συγκέντρωσης στους δύο θαλάμους αντίδρασης υπολογίζεται η συγκέντρωση του NO₂. Κατά την παραπάνω διαδικασία έχουμε πλήρη εξάλειψη της αμμωνίας και των υδρογονανθράκων.

Τα σήματα από τους δύο θαλάμους μετά από το φωτοπολλαπλασιαστή οδηγούνται σε ένα μικροϋπολογιστή και έχουμε τις τιμές των NO, NO_x και NO₂.



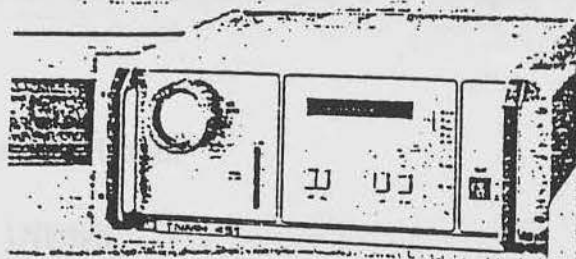
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- Κλίμακες μέτρησης: 0 - 0.1/0.25/0.50/1/10 ppb
- Ελάχιστο ανιχνεύσιμο όριο: 0.35 ppb ($\pm 2\sigma$)
- Χρόνος απόκρισης: αυτόματα προγραμματιζόμενος
- Μετατόπιση μηδενός: λιγότερο από 1 ppb / 7 ημέρες
- Μετατόπιση SPAN: λιγότερο από 1 % / 15 ημέρες
- Γραμμικότητα: $\pm 1\%$
- Επαναληψιμότητα: 0.5 %
- Ροή δείγματος: 0.57 lit/min
- Ροή γεννήτριας όζοντος: 0.17 lit/min
- Θερμοκρασία λειτουργίας: +10 μέχρι +35 °C

A5. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ

Ο προτεινόμενος αναλυτής υδρογονανθράκων είναι το μοντέλο TNMH 451 της εταιρίας DANI. Ο παραπάνω αναλυτής εκτιμά τους μη μεθανίου υδρογονάνθρακες μέσα από μία καταλυτική αφαίρεση και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- μία αντλία που απορροφά τον αέρα
- ένα σύστημα ανίχνευσης το FID (Flame Ionization Detection)
- ένα μικροεπεξεργαστή ελέγχου
- ένα ενσωματωμένο σύστημα καταγραφής των ολικών υδρογονανθράκων, των μη μεθανίου και των μεθανίου.



Η αρχή λειτουργίας του οργάνου, έχει ως εξής:

Μία αντλία απορροφά από τον αγωγό του δείγματος το δείγμα αέρα που είναι προς ανάλυση και ένα μικρό μέρος από αυτό οδηγείται με σταθερό ρυθμό ροής στον αναλυτή, ενώ το υπόλοιπο μέσω ενός στομίου οδηγείται σε έναν ακριβή ρυθμιστή πίεσης.

Το μέρος του αερίου που είναι προς ανάλυση στέλνεται ή απευθείας στο FID ή μέσα από έναν ειδικό scrubber ο οποίος εξαλείφει όλους του υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο. Ο μικροεπεξεργαστής εξασφαλίζει τη λειτουργία του scrubber όπου η μέτρηση που παίρνουμε εξαρτάται μόνο από την περιεκτικότητα σε μεθάνιο. Η μέτρηση αυτή

αφαιρείται συνεχώς από την ολική μέτρηση των υδρογονανθράκων σύμφωνα με αυτό που ονομάζεται "Methane Reference Mode (MRM)".

Ένας κύκλος του MRM διαρκεί 60 sec και μπορεί να επαναληφθεί μετά από διάλειμμα που διαρκεί από 4 ως 99 min. Ο scrubber αποτελείται από έναν ειδικό καταλυτικό αντιδραστήρα ο οποίος τοποθετείται σε αυστηρά σταθερή θερμοκρασία. Η διάρκεια ζωής του καταλύτη εξαρτάται από την ποσότητα και τη φύση των υδρογονανθράκων και κάτω από ομαλές συνθήκες λειτουργίας διαρκεί γύρω στις 10.000 ώρες.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

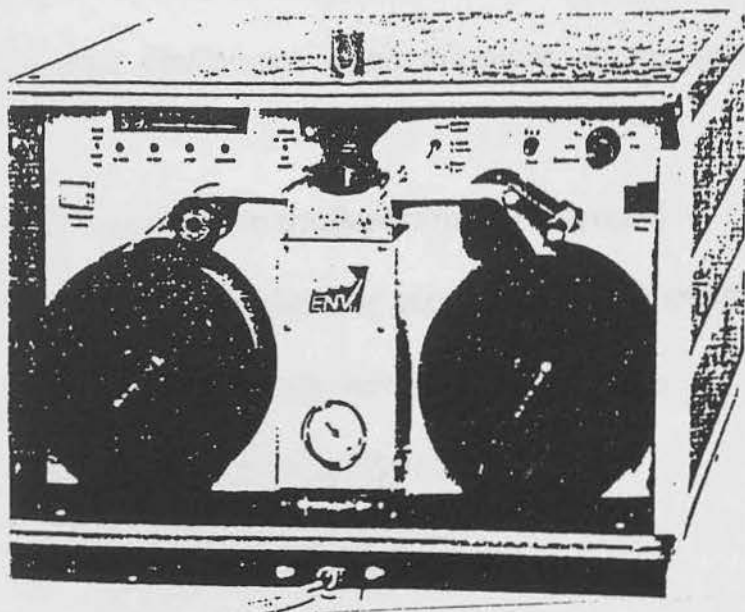
- κλίμακες μέτρησης (ισοδύναμες του μεθανίου): 0 – 10 ppm / 0 – 100 ppm / 0 – 1000 ppm
- ελάχιστο ανιχνεύσιμο όριο: 0.01 ppm
- ρυθμός ροής δείγματος: 1NI/min
- χρόνος απόκρισης (FID) (0 – 95 %): 5 sec

A6. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνεται το MPSI 100 της ENVIRONNEMENT S.A. Είναι ένα όργανο που προέκυψε ύστερα από συνεχείς έρευνες πάνω στην αυτόματη δειγματοληψία και μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων. Το όργανο αποτελείται:

- από μια ερμητικά κλεισμένη πηγή β ακτινοβολίας, πολύ χαμηλής ενεργότητας
- μία θερμαινόμενη, ρυθμιζόμενη κεφαλή δειγματοληψίας η οποία υπάρχει σε δύο τύπους για αναπνεύσιμα σωματίδια και για ολικά.

- έναν μικροεπεξεργαστή που ελέγχει το όλο σύστημα και καταγράφει τις τιμές διαρκώς για πολλούς μήνες χωρίς να χρειάζεται έλεγχο από το προσωπικό. Τα αποτελέσματα δίνονται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Η αρχή λειτουργίας του οργάνου, στηρίζεται στη μέτρηση της εξασθένησης της β ακτινοβολίας μία μέθοδο που οδηγεί στα πιο ακριβή αποτελέσματα. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλή αξιοπιστία που οφείλεται στη σταθερότητα του ανιχνευτή (σωλήνας Geiger – Muller) και από το ότι δε χρειάζεται ρύθμιση του μηδενός, η οποία γίνεται αυτόματα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου μέτρησης.

Η εκπομπή της β-ακτινοβολίας, από μια πηγή που βρίσκεται χαμηλά τοποθετημένη μέσα από ένα φίλτρο εξαρτάται από την πυκνότητα μάζας που συναντά και είναι ανεξάρτητη από τη χημική σύσταση της μάζας. Μετρώντας την εξασθένηση της β-ακτινοβολίας η οποία οφείλεται στην ύπαρξη της σκόνης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση της σκόνης στο δείγμα του αέρα. Ένα κομμάτι του φίλτρου ζυγίζεται πριν και μετά την εναπόθεση της σκόνης.

Τα προβλήματα που θα παρουσίαζε μία τέτοια μέθοδος είναι ο συνεχής έλεγχος που πρέπει να υπάρχει ώστε να εξασφαλίζει σταθερή παροχή αέρα, η επικινδυνότητα μιας ραδιενεργού πηγής καθώς και η καλή λειτουργία του Geiger – Muller.

Τα συγκεκριμένα προβλήματα αντιμετωπίζονται από το παραπάνω μοντέλο και αυτός είναι ο λόγος που επιλέχτηκε, αφού σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία εξασφαλίζει:

- υψηλή αξιοπιστία που έγκειται στη σταθερότητα του ανιχνευτή
- αυτόματη ρύθμιση της ροής του δείγματος αέρα έτσι ώστε να αντισταθμίζεται το φράξιμο του φίλτρου από τη σκόνη που συνεχώς κατακάθεται πάνω του
- πηγή χαμηλής ενεργότητας, χωρίς ακτινοβολία γ.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

- πηγή ακτινοβολίας: προμήθεια 147, ενεργότητα 250 μCi , ενέργεια βήτα 0.225 MeV
- εύρος μετρήσεων: 1 – 4000 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
- αυτονομία: 1350 μετρήσεις
- ροή αέρα: 1.5 m^3/h
- χρόνος μέτρησης: 200 sec
- θερμοκρασία λειτουργίας: +10 μέχρι +40 ° C

B. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Το σύστημα που επιλέχθηκε είναι το Met Set 3M της MET ONE. Είναι ένα, ολοκληρωμένο, χαμηλής ισχύος, σύστημα αποθήκευσης μετεωρολογικών δεδομένων. Δέχεται τα δεδομένα από μία ποικιλία αισθητήριων και τα αποθηκεύει στη μνήμη. Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν μέσα από τηλεφωνικές γραμμές, σε κασσέτα, σε φορητό

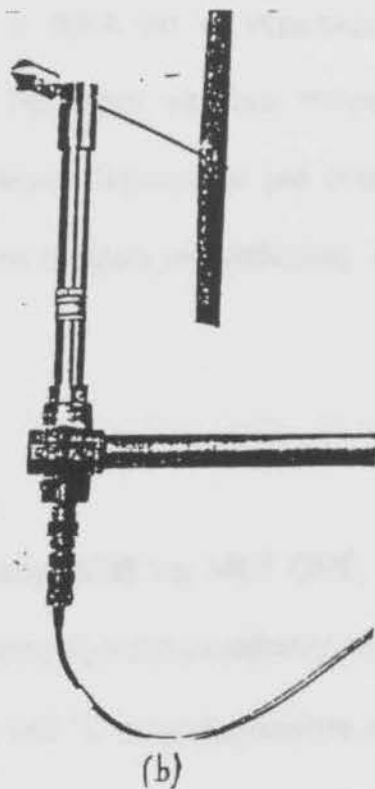
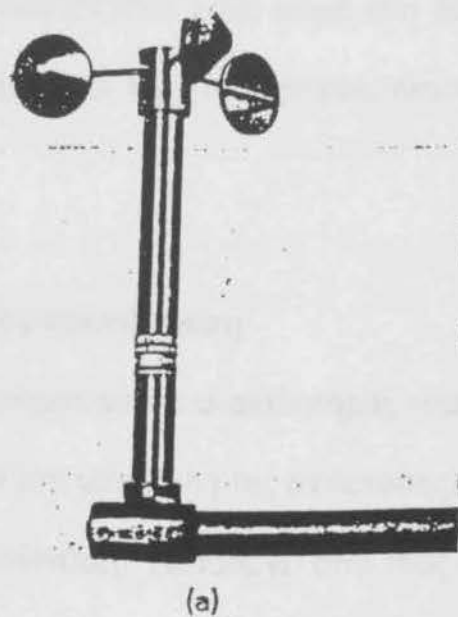
εκτυπωτή ή στην ψηφιακή οθόνη του συστήματος. Το micrologger του συστήματος, το οποίο περιέχει έναν μικροϋπολογιστή, ψάχνει τους αισθητήρες κάθε ένα λεπτό, ολοκληρώνει τα δεδομένα και τα μεταχειρίζεται σύμφωνα με πρόγραμμα που έχει στη μνήμη του και αποθηκεύει ομάδες πληροφοριών σε διαστήματα που επιλέγονται από το χειριστή του συστήματος. Τα δεδομένα μπορούν τότε να ληφθούν μέσω μιας ποικιλίας επιλογών: μέσος όρος, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή, τυπική απόκλιση, ρυθμός μεταβολής, ιστόγραμμα ταχυτήτων ανέμου, ροδόγραμμα και ιστόγραμμα της κατανομής συχνοτήτων της διεύθυνσης του ανέμου. Το σύστημα περιλαμβάνει μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, της διεύθυνσης του ανέμου, της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας, του ύψους βροχής και της βαρομετρικής πίεσης. Όλοι οι αισθητήρες έχουν διακόπτες μηδενισμού (ZERO) και βαθμονόμησης (SPAN), ώστε να μπορεί να εξακριβωθεί η λειτουργία και η ακρίβεια του συστήματος κάθε στιγμή. Οι υπάρχοντες αισθητήρες αφορούν:

B1. Ταχύτητα ανέμου.

Χρησιμοποιείται το ανεμόμετρο κυπέλλων 014 A της MET ONE, το οποίο λειτουργεί με μαγνητικούς διακόπτες. Το εύρος μετρήσεων είναι από 0 έως και 45 m/sec με κατώφλι τα 0.45 m/sec. Η ακρίβεια του οργάνου είναι $\pm 1\%$ και σταθερά απόστασης είναι 5 m. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -50 ως $+70$ βαθμούς Κελσίου.

B2. Διεύθυνση ανέμου

Χρησιμοποιείται ο ανεμοδείκτης 024A της MET ONE, ο οποίος λειτουργεί με ποτενσιόμετρο. Το εύρος μετρήσεων είναι $0^\circ - 360^\circ$, το κατώφλι είναι 0.45 m/sec, έχει ακρίβεια $\pm 3^\circ$ και η απόσταση υστέρησης είναι λιγότερη από 1.5 m.



B3. Θερμοκρασία

Η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με το Thermistor 060A της MET ONE. Έχει εύρος μετρήσεων από $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ως $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, γραμμικότητα $\pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ακρίβεια $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (από $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $85\text{ }^{\circ}\text{C}$) και $\pm 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (από $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ως $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η σταθερά χρόνου του οργάνου είναι 10 sec σε κατάσταση άπνοιας.

B4. Σχετική υγρασία

Χρησιμοποιείται το μοντέλο 083RH της MET ONE η λειτουργία του οποίου βασίζεται στην αλλαγή της χωρητικότητας πυκνωτή, ο οποίος είναι ένα λεπτό πολυμερές film. Έχει εύρος μετρήσεων 0 - 100 % με ακρίβεια $\pm 3\%$ (από 10 - 90 %) και $\pm 10\%$ (από 90 - 100 %). Ο χρόνος απόκρισης είναι λιγότερος από 1 sec και ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι 0.07 % ανά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ο αισθητήρας 083 για τη σχετική υγρασία και ο 060A για τη θερμοκρασία είναι εγκατεστημένοι πάνω στο 071A της MET ONE. Πρόκειται για ένα πτερύγιο που, προσανατολιζόμενο κάθε φορά στη διεύθυνση του ανέμου δημιουργεί μια σταθερή ροή αέρα γύρω από τους αισθητήρες, ελαττώνοντας έτσι το σφάλμα ακτινοβολίας, κάτω από 0.2°F .

B5. Βαρομετρική πίεση

Χρησιμοποιείται ο αισθητήρας ατμοσφαιρικής πίεσης 090B της MET ONE, ο οποίος βασίζεται στη μεταβολή της αντίστασης ενός διαφράγματος εξαιτίας μεταβολής της πίεσης (πιεζο-αντίσταση). Λειτουργεί από τους -40°C ως τους $+50^{\circ}\text{C}$ με γραμμικότητα $\pm 0.5\%$.

B6. Ύψος βροχής

Χρησιμοποιείται το μοντέλο 099R της MET ONE, το οποίο έχει σχεδιαστεί για συνεχή μέτρηση σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το άνοιγμα του έχει πλάτος 20 cm ενώ στο κάτω μέρος υπάρχει μηχανισμός απομάκρυνσης του νερού, ώστε να μη χρειάζεται η περιοδική επίβλεψή του. Έχει ακρίβεια 0.5% ή 1.25 cm/h .

B7. Ηλιακή ακτινοβολία

Χρησιμοποιείται το πυρανόμετρο 096 της MET ONE, το οποίο λειτουργεί με ηλιακές κυψέλες πυριτίου και έχει διόρθωση συνημιτόνου. Έχει ακρίβεια της τάξης του $\pm 5\%$, γραμμικότητα 1% στα 3000 Watt/m^2 , χρόνο απόκρισης (10 – 90 %) $10\text{ }\mu\text{sec}$. Ακόμα η εξάρτησή του από τη θερμοκρασία είναι $\pm 0.15\%$ ανά βαθμό Κελσίου και η διόρθωση συνημιτόνου γίνεται για γωνία πρόσπτωσης πάνω από 82° .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αναγνωστοπούλου, Α.Κ. (1989), "Η Ρύπανση του Περιβάλλοντος", Θεσσαλονίκη, σ. 423.
- Ζερεφός, Χ.Σ. (1984), "Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος", Θεσσαλονίκη, σ. 381.
- Παλιατσός, Α.Γ. (1999), "Σημειώσεις του Μαθήματος: Περιβαντολογία και Φυσικά Διαθέσιμα", Αθήνα, σ. 103.
- Σίσκος, Π.Α. (1989), "Περιβάλλοντική Χημεία Ι", Αθήνα, σ. 232.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	3
2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ	6
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	7
2.2 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	10
2.3 ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	11
2.4 ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ	12
2.4.1 ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)	12
2.4.2 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂)	13
2.4.3 ΥΔΡΟΘΕΙΟ	16
2.4.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ	16
2.4.5 ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	18
2.4.6 ΟΖΟΝ	19
2.4.7 ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ	21
2.4.8 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	22
3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	24
4. ΑΙΧΜΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ	26
5. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	27
6. ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	27
A. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ	29
A1. ΑΝΑΛΥΤΕΣ ΟΖΟΝΤΟΣ	29
A2. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	32

	46
A3. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ	33
A4. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	34
A5. ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	37
A6. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	38
B. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	40
B1. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ	41
B2. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	41
B3. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	42
B4. ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	42
B5. ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	43
B6. ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ	43
B7. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44