

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΠΟΥΔΩΝ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΥΠΟΕΡΓΟ ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ



ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

[Οδηγός εκπαιδευτικών]

Δ. Μελάς

Λέκτορας - Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

Α. Αλεξανδροπούλου

Περιβαλλοντολόγος, M.Sc. Περιβαλλοντικής Φυσικής

Β. Αμοιρίδης

Φυσικός, M.Sc. Περιβαλλοντικής Φυσικής

Μ. Κακαρίδου

Φυσικός

Ν. Σουλακέλλης

Επίκουρος Καθηγητής - Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ
ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ**
Β' ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ



**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**



Συγχρηματοδότηση: Ευρωπαϊκή
Στήριξη: Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, Δράση 12

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΑΘΗΝΑ 2000**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 Η γήινη ατμόσφαιρα	5
1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	6
2.0 ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ	9
2.1 Βασικές έννοιες	9
2.2 Πηγές αερίων ρύπων.....	9
2.3 Ατμοσφαιρικοί ρύποι.....	15
3.0 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	18
3.1 Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης.....	18
3.2 Η επίδραση του ανέμου στα επίπεδα ρύπανσης.....	20
3.3 Ατμοσφαιρική ευστάθεια και αναστροφές	21
4.0 ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ.....	24
4.1 Φωτοχημικό νέφος των μεγαλουπόλεων	24
4.2 Ρύπανση εσωτερικών χώρων	27
4.3 Οξινή βροχή	28
4.4 Αραίωση του στρώματος του όζοντος.....	31
5.0 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	37
5.1 Επιπτώσεις στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου.....	37
5.2 Επιπτώσεις στα ζώα.....	38
5.3 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά	39
5.4 Επιπτώσεις στα μνημεία	41
6.0 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	42
6.1 Έλεγχος των εκπομπών από τις βιομηχανίες.....	42
6.2 χρήση καταλυτών στα αυτοκίνητα	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	48
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	50

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα τέλη του Γενάρη του 1971, η αποστολή Απόλλων 14 οδήγησε τους αστροναύτες Alan Shepard και Edgar Mitchell για μια βόλτα στο φεγγάρι. Το ταξίδι της επιστροφής, λίγες μέρες αργότερα, ήταν μια εμπειρία ζωής. Η θέα της γης σαν «γαλάζιο πετράδι κρεμασμένο στο βελούδινο σκοτάδι» άφησε ανεξίτηλα σημάδια στην ζωή των δύο αστροναυτών. Αυτοί, όπως και πολλοί άλλοι αστροναύτες διαφόρων εθνικοτήτων, μαγεύτηκαν από την «απερίγραπτη ομορφιά» αλλά και «τρομοκρατήθηκαν από την εύθραυστη όψη» της γήινης ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα, σύμφωνα με τις δηλώσεις τους, να επιστρέψουν στην γη διαφορετικοί άνθρωποι από αυτούς που άφησαν την επιφάνειά της. Η κατάκτηση του διαστήματος, όπως αυτή αποτυπώνεται στις περίφημες φωτογραφίες, αποτέλεσε ταυτόχρονα και την γέννηση μιας παγκόσμιας συνείδησης για το περιβάλλον της γης.

Καθώς τίποτε δεν παραμένει για πολύ αμετάβλητο, έτσι και η ατμόσφαιρα της γης εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Οι χημικές και βιολογικές επιδράσεις που διαμόρφωσαν την σύστασή της συνεχίζουν να δρουν ενώ προστίθενται συνεχώς μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων από την δράση των ηφαιστειών και των θερμών πηγών. Το νέο στοιχείο είναι ότι ο άνθρωπος της βιομηχανικής εποχής έγινε και ο ίδιος παράγοντας με μεγάλη περιβαλλοντική βαρύτητα. Ήδη, από τις πρώτες δεκαετίες του 18^{ου} αιώνα, οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες οδήγησαν σε αύξηση της χρήσης απολιθωμένων καυσίμων υλών, αύξηση η οποία έφτασε σε τρομακτικούς ρυθμούς στον εικοστό αιώνα. Οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες έρχονται να προστεθούν σε αυτούς που εκπέμπονται από φυσικές πηγές δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για αλλοίωση της σύστασης της. Μπορεί η βασική σύσταση της ατμόσφαιρας σε άζωτο και οξυγόνο (το 99% του ατμοσφαιρικού αέρα) να μην αλλάζει, η αύξηση όμως των συγκεντρώσεων αερίων με μικρή συμμετοχή στην σύσταση της ατμόσφαιρας κάνει την παραμονή στην γη δυσκολότερη ή στην πιο αισιόδοξη εκδοχή λιγότερο ευχάριστη. Η ανθρώπινη υγεία και ευεξία, η ευστάθεια του κλίματος, το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον όλα αποδεικνύονται πολύ ευαίσθητα σε αλλαγές αερίων των οποίων η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα δεν υπερβαίνει το 0.04%.

Ο οδηγός «Ατμοσφαιρική Ρύπανση» χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια στα οποία παρουσιάζονται οι βασικές συνιστώσες του προβλήματος και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Το πρώτο, εισαγωγικό, κεφάλαιο περιλαμβάνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή καθώς και στοιχεία για την φυσική σύσταση της ατμόσφαιρας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι, από πλευράς επιπτώσεων και συχνότητας εμφάνισης, ρύποι καθώς και οι σημαντικότερες πηγές τους. Η παρουσίαση δεν περιορίζεται μόνο στις ανθρωπογενείς πηγές αλλά γίνεται μια αναφορά και στις φυσικές πηγές ρύπανσης. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την ατμοσφαιρική περιπέτεια των ρύπων. Παρουσιάζεται η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στα επίπεδα ρύπανσης ενώ αναλύεται παραστατικά η σημασία του ανέμου και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας στην διασπορά των ρύπων.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ένα αριθμό από υποκεφάλαια τα οποία ασχολούνται με θέματα αιχμής που απασχολούν τακτικά τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, όπως η αραίωση του στρώματος του όζοντος, το φωτοχημικό νέφος των πόλεων, η ρύπανση εσωτερικών χώρων και η όξινη βροχή. Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε παρουσιάζονται βασικά στοιχεία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, όπως ο καταλυτικός μετατροπέας και τα φίλτρα των εργοστασίων.

Ο σκοπός του οδηγού είναι να παρουσιασθούν με τρόπο συνοπτικό, παραστατικό, λειτουργικό και μη μαθηματικό οι βασικές συνιστώσες του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η

ανάγνωσή του δεν προϋποθέτει γνώσεις στις επιμέρους επιστήμες του περιβάλλοντος. Παρ' όλα αυτά εκπαιδευτικοί με βασικές γνώσεις φυσικής και χημείας πιθανόν να βρουν τον οδηγό περισσότερο χρήσιμο.

Στο τέλος παρατίθεται ένας ευρύς κατάλογος βιβλιογραφίας τόσο έντυπης όσο και ηλεκτρονικής (διευθύνσεις διαδικτύου). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μεγάλη πλειοψηφία της βιβλιογραφίας είναι στην Αγγλική γλώσσα παρατίθεται στο σύντομο λεξικό βασικών εννοιών που κλείνει τον οδηγό και η αντίστοιχη Αγγλική ορολογία.

Θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Δημήτριο Μπαλή και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Φυσικής Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. Ελένη Κατράγκου και Αναστασία Τσιροπούλου για την πολύτιμη συμβολή τους.

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η γήινη ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα της γης είναι ένα λεπτό αεριώδες περίβλημα το οποίο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.1, αποτελείται κυρίως από μοριακό άζωτο και οξυγόνο. Οι επιστήμονες υπολογίζουν την ηλικία της γήινης ατμόσφαιρας σε περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η αρχική σύσταση της ατμόσφαιρας διέφερε πολύ από την σημερινή και πιθανότατα θα ήταν τοξική για τα περισσότερα σημερινά έμβια όντα. Αυτή η αφιλόξενη πρώτη ατμόσφαιρα υπέστη μεγάλες αλλαγές από την δράση πολλών χημικών, γεωλογικών και βιολογικών μηχανισμών. Μέσα από μια πολύπλοκη εξελικτική πορεία διαμορφώθηκε πριν περίπου από 0.5 δισεκατομμύριο χρόνια μια ατμόσφαιρα της οποίας η σύσταση δεν διέφερε πολύ από την σημερινή.

Σημαντικές διαφοροποιήσεις στην σύσταση έχουν παρουσιασθεί, κυρίως μετά την βιομηχανική επανάσταση, μόνο στις συγκεντρώσεις κάποιων αερίων τα οποία έχουν μικρή συμμετοχή στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Η σημερινή σύσταση της αρρύπαντης ατμόσφαιρας φαίνεται στον Πίνακα 1.1. Η χρήση της έννοιας «αρρύπαντη ατμόσφαιρα» στον πίνακα είναι σχετική λόγω του γεγονότος ότι όταν αποκτήσαμε τα μέσα για τον ακριβή προσδιορισμό της σύστασής της είχε ήδη αρχίσει η συστηματική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους.

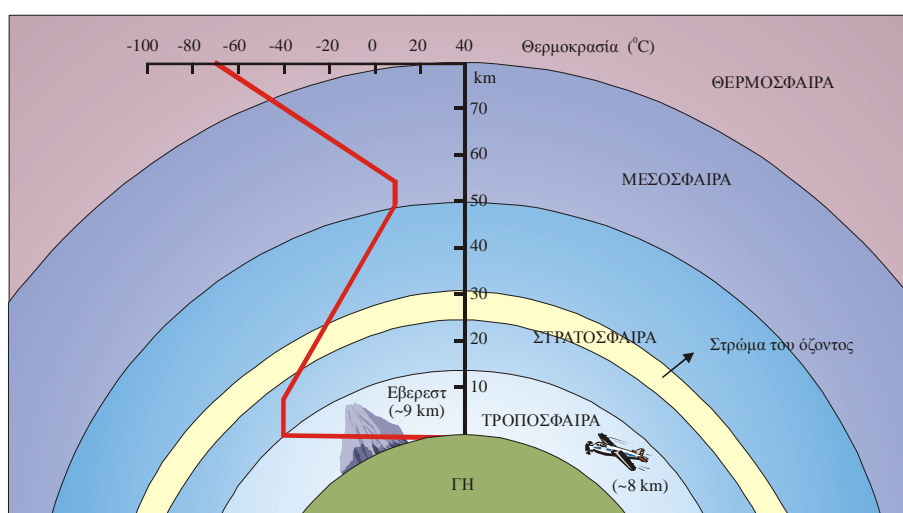
Ένας τρόπος να χωρισθεί η ατμόσφαιρα της γης σε στρώματα είναι με βάση την σύστασή της. Η βασική σύσταση της ατμόσφαιρας σε N_2 και O_2 παραμένει σταθερή μέσα στην *ομοιόσφαιρα*, το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος περίπου των 80 χιλιομέτρων. Στο στρώμα αυτό, η τυρβώδης ροή του αέρα είναι αρκετά έντονη ώστε το μοριακό μίγμα των κυριοτέρων αερίων να διατηρείται σε σταθερή αναλογία. Η τάση διαχωρισμού των αερίων σύμφωνα με το μοριακό τους βάρος εξουδετερώνεται μέσα στην ομοιόσφαιρα από τον μηχανισμό μίξης. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι τα πρώτα 65-80 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της γης περιλαμβάνουν τα 99% της συνολικής μάζας του ατμοσφαιρικού αέρα. Το στρώμα που βρίσκεται πάνω από την ομοιόσφαιρα ονομάζεται *ετερόσφαιρα* και, όπως υποδηλώνει το όνομά του, η σύστασή του δεν είναι ομοιογενής καθώς τα βαρύτερα άτομα και μόρια τείνουν να κατακάθονται στο κάτω μέρος του ενώ τα ελαφρύτερα αέρια επιπλέουν στην κορυφή.

Πίνακας 1.1: Η σημερινή σύσταση της αρρύπαντης ατμόσφαιρας.

Αμετάβλητα αέρια			Μεταβλητά αέρια		
Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (κατ' όγκο)	Αέριο	Σύμβολο	Ποσοστό (κατ' όγκο)
Μοριακό άζωτο	N_2	78.08	Υδρατμοί	H_2O	0-4
Μοριακό οξυγόνο	O_2	20.95	Διοξ. του άνθρακα	CO_2	0.036
Αργό	Ar	0.93	Μεθάνιο	CH_4	0.00017
Νέον	Ne	0.0018	Υποξείδιο του	N_2O	0.00003
Ήλιο	He	0.0005	αζώτου		
Μοριακό Υδρογόνο	H_2	0.00006	Όζον	O_3	0.000004

Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού της ατμόσφαιρας στηρίζεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Κατ' αυτό τον τρόπο η ατμόσφαιρα μπορεί να χωριστεί στις εξής βασικές περιοχές (σχήμα 1.1):

- *Τροπόσφαιρα:* Η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 10-12 km. Στην τροπόσφαιρα δημιουργείται ο καιρός. Επίσης εδώ λαμβάνει χώρα σε συντριπτικό ποσοστό η εκπομπή των ρύπων.
- *Στρατόσφαιρα:* Το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ της τροπόπαυσης (δηλαδή του άνω ορίου της τροπόσφαιρας) και των 50 km από το έδαφος. Είναι η περιοχή όπου βρίσκεται το στρώμα του όζοντος.
- *Μεσόσφαιρα:* Εκτείνεται από την στρατόπαυση μέχρι τα 80 km περίπου και είναι η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας.
- *Θερμόσφαιρα:* Εκτείνεται από την μεσόπαυση μέχρι τα 400 km περίπου και χαρακτηρίζεται από την μεγάλη αραιώση του αέρα.



Σχήμα 1.1: Στρώματα της ατμόσφαιρας όπως προκύπτουν από την κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος.

1.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή

- *Πριν από την βιομηχανική επανάσταση*

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της εποχής μας. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές να ζουν ως νομάδες, ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσοσμία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα ρυπαίνοντας τον αέρα, στις περιοχές που κατοικούσαν, με προϊόντα ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μ.Χ στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη.

«Μόλις έφυγα μακριά από τον πνιγερό αέρα της Ρώμης και από τη βρωμιά των καπνοδόχων που κάπνιζαν, διαχέοντας ολόγυρα θανατηφόρα αέρια και αιθάλη, ένιωσα να αλλάζει η διάθεσή μου»,
Σενέκας, 61 μ.Χ.

Το 1157, η σύζυγος του βασιλιά Ερρίκου του 2^{ου} της Αγγλίας, Ελεονόρα, μετακόμισε από το Tutbury Castle του Nottingham, γιατί θεώρησε ανυπόφορη τη ρύπανση του αέρα εξ αιτίας της καύσης των ξύλων. Άλλες αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου, με αποτέλεσμα, ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Μαρτυρίες αναφέρουν ότι ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου. Οι κυριότερες δραστηριότητες που συνδέονταν με την ατμοσφαιρική ρύπανση τους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιεία και η διατήρηση κτηνοτροφικών προϊόντων.

- *Η βιομηχανική επανάσταση*

Η βιομηχανική επανάσταση, τον 19^ο αιώνα, οδήγησε στην εντατική χρήση κυρίως του κάρβουνου και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, κίνησης ατμομηχανών και πλοίων, καθώς και οικιακής θέρμανσης, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη. Το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέβη το 1875 στο Λονδίνο, όπου σημειώθηκαν αρκετοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων. Σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ, αναλαμβάνεται δράση για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης και αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.



Σχήμα 1.2: Χαρακτική η οποία εμφανίζει ένα χυτήριο στην βιομηχανική περιοχή Saar της Γερμανίας (1876).

- *Εικοστός Αιώνας*

Παρόλο, λοιπόν, που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό προνόμιο της σύγχρονης εποχής, μια σειρά από μεγάλα επεισόδια τις τελευταίες δεκαετίες μας υπενθύμισαν το μέγεθος του προβλήματος και την ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η αιθαλομίχλη, το 1909, στη Γλασκώβη και το Εδιμβούργο θεωρήθηκε η κύρια αιτία για 1000 περίπου θανάτους ανθρώπων. Το 1930, πάλι σε επεισόδιο αιθαλομίχλης, στη βιομηχανική περιοχή της κοιλάδας του Meuse στο Βέλγιο αρρώστησαν εκατοντάδες άτομα, από

τα οποία 60 πέθαναν τις επόμενες μέρες. Το 1948 στην πόλη Donora των Ηνωμένων Πολιτειών κατά την διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και 6,000 ασθένειες οι οποίες συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόνο 14,000 κάτοικοι. Το μεγαλύτερο, όμως, επεισόδιο συνέβη στο Λονδίνο το 1952 όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν 4,000 «πλεονάζοντες» θάνατοι (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο) οι οποίοι αποδόθηκαν στην ρύπανση.

Όταν ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο και λόγω των αυξημένων αναγκών, το πρόβλημα της ρύπανσης έγινε οξύτερο καθώς και ένας άλλος τύπος ρύπανσης, η φωτοχημική, έκανε την εμφάνισή του, αρχικά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1940.



Σχήμα 1.3: Φωτοχημική αιθαλομίχλη στο σύγχρονο Las Vegas.

2.0 ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ

2.1 Βασικές έννοιες

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα.

Για να εκφράσουμε τα επίπεδα ρύπανσης χρησιμοποιούμε συνήθως δύο μονάδες συγκέντρωσης, είτε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ είτε *μέρη ανά εκατομμύριο όγκου* ή απλά *μέρη ανά εκατομμύριο* (πολλές φορές δανειζόμαστε από την αγγλική βιβλιογραφία την σύντμηση $\text{ppmv} = \text{Parts Per Million by Volume}$ ή απλά ppm). Συγκέντρωση 1 μέρος ανά εκατομμύριο όγκου σημαίνει ότι αντιστοιχεί μία μονάδα όγκου του ρύπου σε κάθε 10^6 μονάδες όγκου αέρα. Παρ' όλο που συγκέντρωση ίση με 1 ppm ακούγεται μικρή, για πολλούς αέριους ρύπους υπερβαίνει κατά πολύ τις συνηθισμένες τιμές που συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Γι αυτό τον λόγο σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις ενός ρύπου μετρώνται σε *μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου* (ή ppb). Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων, αλλά και των αερίων ρύπων μετρώνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2 Πηγές αερίων ρύπων

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αερίων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Φυσικές Πηγές

Η χλωρίδα της γης αποτελεί την μεγαλύτερη φυσική πηγή εκπομπής αερίων ρύπων. Τα δέντρα και τα φυτά, παρά την συμβολή τους στην μετατροπή, μέσω της φωτοσύνθεσης, του διοξειδίου του άνθρακος της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο, αποτελούν τα ίδια τη μεγαλύτερη πηγή υδρογονανθράκων του πλανήτη.

Οι ωκεανοί αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή «φυσικών» ρύπων. Η δράση των βενθικών και φυτοπλακτονικών οργανισμών οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θειούχων ενώσεων. Επιπλέον, η μηχανική δράση των κυμάτων προκαλεί τη διάβρωση των πετρωμάτων και την παραγωγή σωματιδίων με μέγεθος ικανό ώστε να είναι δυνατή η αιώρησή τους στην ατμόσφαιρα. Τέλος, ο άνεμος συμπαρασύρει υδροσταγονίδια που περιέχουν άλατα αποτελώντας, έτσι, συνεχή πηγή ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (αεροζόλ).

Ατμοσφαιρικά αιωρήματα δημιουργούνται ωστόσο και από την επίδραση του ανέμου στο έδαφος και τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνειά του. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατό να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα θεσπισμένα όρια

προστασίας. Αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων αποτελεί η μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.1: Θύελλα σκόνης στην περιοχή Hay Plain NSW (φωτογραφία : Steve Hill).



Σχήμα 2.2: Δορυφορική εικόνα από τις ανατολικές ακτές της Αυστραλίας. Διακρίνονται καθαρά οι θύσανοι που δημιουργούνται από τις εκτεταμένες πυρκαγιές – συχνό φαινόμενο τις καλοκαιρινές περιόδους.

Μια άλλη σημαντική πηγή φυσικών ρύπων αποτελεί και η καύση της βιομάζας. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στις εκτεταμένες πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα σε δάση και λειβαδικές εκτάσεις και που δεν οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τέτοιες πυρκαγιές συναντάμε συχνά κατά τις θερινές περιόδους του έτους, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που σημειώνονται, είτε μετά από ισχυρές καταιγίδες, λόγω των κεραυνών.

Τέλος, μιλώντας για φυσικές πηγές, δε θα μπορούσαμε να παραλείψουμε τα ηφαιστεια. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου παράγει μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και αερίων

όπως διοξείδιο του θείου, μεθάνιο και υδρόθειο. Τα σύννεφα που σχηματίζονται από τα σωματίδια και τα αέρια εκτοξεύονται σε μεγάλο ύψος και μπορεί να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι εκπομπές σωματιδίων από την πρόσφατη έκρηξη του Pinatubo είχε σαν αποτέλεσμα να καταγραφεί ελαφρά μείωση στη θερμοκρασία του πλανήτη.



Σχήμα 2.3: Η έκρηξη του Mt. Pinatubo στις Φιλιππίνες, το 1991, ήταν η μεγαλύτερη του 20ου αιώνα. Μετά από μια έκρηξη ηφαιστείου απαιτούνται δύο περίπου χρόνια ώστε να επανέλθουν οι τιμές των αεροζόλ στα «κανονικά» τους επίπεδα.

Ανθρωπογενείς Πηγές.

Τρεις είναι οι κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης: η βιομηχανική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου και του τομέα παραγωγής ενέργειας), οι μεταφορές και οι κεντρικές θερμάνσεις.

Βιομηχανία

Η βιομηχανία αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή αερίων ρύπων καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται οδηγούν στην παραγωγή εξίσου μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου. Επίσης, είναι η κυριότερη πηγή βαρέων μετάλλων σε ποσοστό που πλησιάζει το 100%. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα είδη των ρύπων που παράγονται από τις διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες.

Στην Ελλάδα είναι χαρακτηριστική η υπερσυγκέντρωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην περιοχή των μεγάλων αστικών κέντρων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Ωστόσο, ειδικά για την Αθήνα, η συμμετοχή της στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη είναι μικρής κλίμακας. Η χωροθέτησή της σε σχέση με το αστικό συγκρότημα σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη συχνή μεταφορά ρύπων προς το κέντρο της πόλης.

Πίνακας 2.1: Εκπεμπόμενοι ρύποι από τις διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες (Πηγή: Masters G.M., Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall Int. Ed., 1991).

Ρύπος	Σταθμοί παραγωγής ενέργειας	Διυλιστήρια Πετρελαίου	Χημικές και φαρμακευτικές βιομηχανίες	Επεξεργασία μετάλλων
Σωματίδια	ü			ü
CO	ü			
CO ₂	ü			
SO ₂	ü	ü		
NO _x	ü	ü		
VOC	ü	ü	ü	
Μόλυβδος				ü
Υδράργυρος	ü		ü	ü
Χαλκός				ü
Κάδμιο			ü	ü



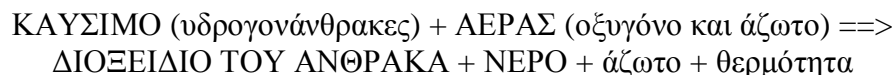
Σχήμα 2.5: Η βιομηχανία αποτελεί την κύρια ανθρωπογενή πηγή αερίων ρύπων.

Αυτοκίνητο

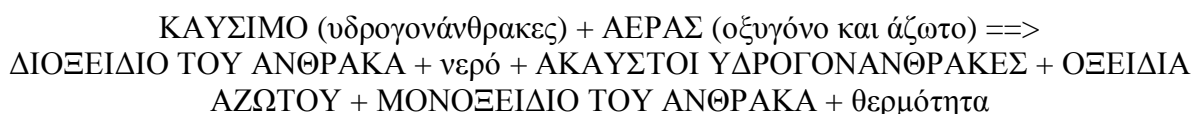
Μέσα στην πληθώρα των ρυπογόνων δραστηριοτήτων μιας σύγχρονης πόλης, η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου αποτελεί την σημαντικότερη συνεισφορά του πολίτη στην ρύπανση της περιοχής. Παρά την μικρή, σχετικά, συνεισφορά κάθε μεμονωμένου αυτοκινήτου, η ρύπανση από τον μεγάλο αριθμό τους προστίθεται για να αποτελέσει την μεγαλύτερη απειλή για την ποιότητα του αέρα στις μεγαλουπόλεις.

Η ισχύς που είναι απαραίτητη για την κίνηση του αυτοκινήτου προέρχεται από την καύση του καυσίμου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Η ρύπανση προέρχεται τόσο από τα προϊόντα της καύσης (τυπικά από την εξάτμιση του αυτοκινήτου) όσο και από την εξάτμιση του καυσίμου. Η

βενζίνη και το ντίζελ είναι μίγματα υδρογονανθράκων, ενώσεις που περιέχουν άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Κατά την διάρκεια της καύσης σε μια τέλεια μηχανή, το οξυγόνο του αέρα θα μετέτρεπε το υδρογόνο σε νερό και τον άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Το άζωτο του αέρα δεν θα επηρεαζόταν. Σχηματικά αυτό θα μπορούσαμε να το παρουσιάσουμε ως εξής:



Σε πραγματικές συνθήκες όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Η καύση στη μηχανή του αυτοκινήτου δεν είναι τέλεια με αποτέλεσμα να εκπέμπονται ρύποι από την εξάτμιση του αυτοκινήτου (κυρίως υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα). Επιπρόσθετα, λόγω των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην μηχανή το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα αντιδρούν σχηματίζοντας οξείδια του αζώτου. Σε μια τυπική περίπτωση έχουμε:

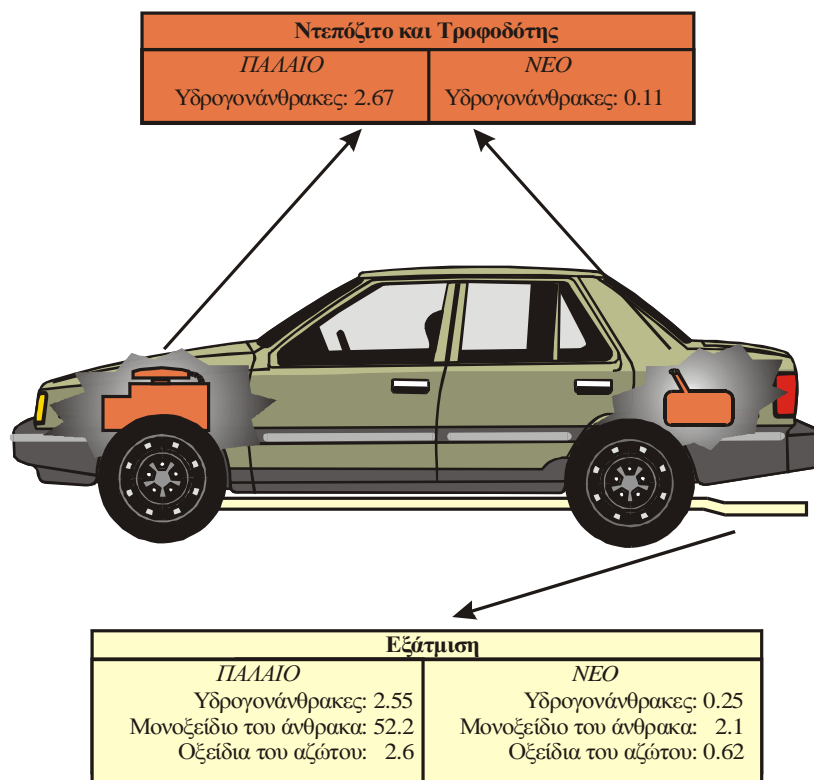


Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι η καύση στις μηχανές Diesel είναι πιο πλήρης απ' ότι στους βενζινοκινητήρες οπότε και οι εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα είναι μικρότερες. Αντίθετα οι κινητήρες Diesel έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στην εκπομπή των σωματιδίων και στις οσμές.

Εκτός των προϊόντων της καύσης, σημαντικές εκπομπές ρύπων προέρχονται και από την εξάτμιση των υδρογονανθράκων. Λαμβάνοντας μάλιστα υπόψη την πρόοδο που έχει γίνει στην μείωση των εκπομπών από την εξάτμιση του αυτοκινήτου, οι απώλειες υδρογονανθράκων λόγω εξάτμισης είναι υπεύθυνες για την πλειονότητα των εκπομπών αυτών των ρύπων στην ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια ζεστών ημερών. Η εξάτμιση του καυσίμου γίνεται με πολλούς τρόπους:

- *Ημερήσια:* Σχετίζεται με την ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και προκαλείται με την συστολή-διαστολή των ατμών του καυσίμου στο ρεζερβουάρ.
- *Κίνησης:* Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του, τόσο ο κινητήρας όσο και η εξάτμιση θερμαίνονται με αποτέλεσμα να εξατμίζεται το καύσιμο.
- *Ακινητοποίησης:* Μετά την ακινητοποίηση του αυτοκινήτου και ενώ τα διάφορα μέρη παραμένουν θερμά, υπάρχει εξάτμιση καυσίμου από το ρεζερβουάρ και το καρμπυρατέρ.
- *Ανεφοδιασμού:* Οι ατμοί που υπάρχουν πάντοτε στο ρεζερβουάρ οδηγούνται έξω όταν το αυτοκίνητο ανεφοδιάζεται με βενζίνη.

Οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα, με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, σχηματίζουν το όζον, ίσως το πιο επικίνδυνο συστατικό του φωτοχημικού νέφους των πόλεων. Συμπληρωματικά, το διοξείδιο του άνθρακα, αν και ακίνδυνο για την υγεία είναι το σημαντικότερο θερμοκηπικό αέριο με μεγάλη συνεισφορά στην παγκόσμια μεταβολή του κλίματος.



Σχήμα 2.6: Τυπικές εκπομπές αερίων ρύπων (σε g/km) από ένα αυτοκίνητο παλαιάς και ένα νέας τεχνολογίας.

Θέρμανση

Η συνεισφορά της θέρμανσης στα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καθαρά εποχικό χαρακτήρα και έγκειται στην παραγωγή καπνού, διοξειδίου του θείου και, σε μικρότερο ποσοστό, οξειδίων του αζώτου. Αν και οι ρύποι, που παράγονται σε ετήσια βάση από τις κεντρικές θερμάνσεις, αποτελούν ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με την παραγωγή των ίδιων ρύπων από τις άλλες δύο πηγές, το διοξείδιο του θείου αποτελεί, στις αστικές περιοχές, ρυποδείκτη για τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι οι πολύ χαμηλές καμινάδες που χρησιμοποιούνται οι οποίες αδυνατούν να διασπείρουν τους ρύπους στην ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σε πολλές περιπτώσεις αυξημένα τοπικά προβλήματα. Το πρόβλημα πάντως δείχνει μια σταθερή πορεία βελτίωσης λόγω της χρήσης καυσίμων καλύτερης ποιότητας (κυρίως χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο) αλλά και της επέκτασης της τηλεθέρμανσης (η οποία στην χώρα μας λειτουργεί ακόμα πιλοτικά).

Οι αιχμές, στις τιμές των ρύπων, παρουσιάζονται τις πρώτες πρωινές και τις πρώτες βραδινές ώρες. Αν κατά τις ώρες της μέγιστης παραγωγής επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. άπνοια και θερμοκρασιακή αναστροφή), τότε προκαλείται συσσώρευση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του θείου και οδηγούμαστε στο σχηματισμό καπνομίχλης.



Σχήμα 2.7: Οι κεντρικές θερμάνσεις εντείνουν τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης των πόλεων κατά τους χειμερινούς μήνες.

2.3 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που κατά κύριο λόγο απασχολούν τις ανά τον κόσμο υπηρεσίες προστασίας του περιβάλλοντος είναι οι παρακάτω: το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες, το όζον, ο καπνός, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο μόλυβδος. Ο προηγούμενος κατάλογος δεν εξαντλεί τις επιβλαβείς ουσίες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα αλλά δεν θα γίνει εδώ αναφορά στις υπόλοιπες διότι είτε οι συγκεντρώσεις τους είναι χαμηλές είτε παρουσιάζουν καθαρά τοπικό χαρακτήρα.

Διοξείδιο του θείου (SO₂).

Το διοξείδιο του θείου είναι αέριο, άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική οσμή σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Το 80% των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του θείου προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων από σταθερές πηγές (βιομηχανία, θέρμανση). Από αυτό, το 85% αποτελεί εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ μόνο το 2% οφείλεται στις εκπομπές του τομέα των μεταφορών. Σημαντικές πηγές αποτελούν επίσης τα διυλιστήρια πετρελαίου και τα εργοστάσια επεξεργασίας χαλκού.

Το διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο αλλά και αλλοιώσεις στη βλάστηση και τα μέταλλα. Μειώνει την ορατότητα της ατμόσφαιρας και αυξάνει την οξύτητα των επιφανειακών υδάτων (λιμνών και ποταμών). Τέλος, επιδρά στα δομικά υλικά και προκαλεί σημαντικές φθορές στο πολιτιστική μας κληρονομιά καθώς το H₂SO₄ προσβάλλει το ανθρακικό ασβέστιο των μαρμάρων και το μετατρέπει σε γύψο.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο. Παράγεται από την ατελή καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα αλλά και από ορισμένες βιολογικές και βιομηχανικές διεργασίες. Κύρια πηγή του όμως είναι τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα (70% των εκπομπών CO).

Υψηλές συγκεντρώσεις του μπορούμε να συναντήσουμε σε κλειστά μέρη όπως χώροι στάθμευσης, ελλιπώς αεριζόμενες υπόγειες διαβάσεις ή κατά μήκος των δρόμων σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής.

Η διαχρονική πορεία του CO αντανακλά τις κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά του σημείου μέτρησης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαντώνται τις πρωινές ώρες και τις μεταμεσημβρινές ώρες.

Ανάλογα με τη συγκέντρωσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα το CO μπορεί να προκαλέσει καρδιακές και πνευμονικές διαταραχές, διαταραχή της συμπεριφοράς, προσβολή του κεντρικού νευρικού συστήματος και διαταραχές των κινήσεων και της όρασης, πονοκέφαλο, κόπωση, κώμα, αδυναμία αναπνοής, ακόμη και θάνατο. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο σε κλειστούς χώρους όπου δύσκολα γίνεται αντιληπτή η παρουσία του.

Οξείδια του αζώτου (NOx).

Από τα επτά γνωστά οξείδια του αζώτου (NO, NO₂, NO₃, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, και N₂O₅) μόνο δύο είναι εκείνα που κατέχουν σπουδαίο ρόλο στα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης: το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου. Για το λόγο αυτό έχει επικρατήσει, ο όρος «οξείδια του αζώτου (NOx)», να χρησιμοποιείται για να δηλώσει μόνο τα δύο αυτά οξείδια. Το NO είναι αέριο, άχρωμο και άγευστο ενώ το NO₂ έχει καστανοκόκκινο χρώμα και ιδιάζουσα οσμή.

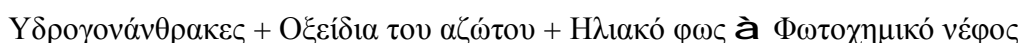
Τα οξείδια του αζώτου παράγονται από τη χρήση καυσίμων, κυρίως σε αυτοκίνητα αλλά και σε βιομηχανικούς καυστήρες και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή των NOx γίνεται είτε από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού αζώτου κατά τη διάρκεια της καύσης είτε κατά τη οξείδωση των αζωτούχων ενώσεων που περιέχονται στα καύσιμα.

Το μεγαλύτερο μέρος από τις εκπομπές NOx γίνεται με τη μορφή του NO, το οποίο όμως οξειδώνεται γρήγορα προς NO₂. Το διοξείδιο του αζώτου, υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, αντιδρά με υδρογονάνθρακες και οδηγεί στην παραγωγή όζοντος και τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Επίσης, το NO₂ έχει συμβολή στην όξινη βροχή.

Το διοξείδιο του αζώτου, σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είναι ερεθιστικό για τον ανθρώπινο οργανισμό. Λόγω της μετατροπής του σε οξύ προκαλεί διάβρωση στα μέταλλα και τα υλικά, ενώ είναι τοξικό και για τη βλάστηση. Τέλος, προκαλεί μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας καθώς μέσα από φωτοχημικές αντιδράσεις δημιουργεί ένα καστανοκίτρινο νέφος πάνω από τις πόλεις.

Όζον (O₃).

Το όζον δεν εκπέμπεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα αλλά παράγεται μετά από μια σειρά αντιδράσεων. Ο συνδυασμός των οξειδίων του αζώτου, των διαφόρων υδρογονανθράκων και του ηλιακού φωτός είναι δυνατό να εκκινήσει μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που σαν προϊόντα έχουν μια σειρά από δευτερογενείς ρύπους, ο κυριότερος από τους οποίους είναι το όζον. Οι διαδικασίες δημιουργίας του όζοντος μπορούν να εκφραστούν με μια απλή ποιοτική αντίδραση:



Το όζον είναι ο κυριότερος ρύπος της φωτοχημικής ρύπανσης των πόλεων και γι' αυτό χρησιμοποιείται σαν δείκτης της. Είναι αέριο άχρωμο, με έντονη οσμή και οξειδωτική δράση. Η χρονική κατανομή του ρύπου παρουσιάζει μέγιστο κατά τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες. Το

βράδυ, αντίθετα, παρουσιάζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις κυρίως λόγω της απουσίας φωτός, και συνεπώς αδυναμίας παραγωγής όζοντος.

Οι εποχικές διακυμάνσεις στα επίπεδα του όζοντος έχουν άμεση σχέση με τις αντιδράσεις σχηματισμού του και ιδιαίτερα με την απαιτούμενη ηλιακή ακτινοβολία. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται, λοιπόν, την θερμή περίοδο του έτους όπου τόσο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερες.

Λόγω των πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που οδηγούν είτε στον σχηματισμό είτε στην καταστροφή του, οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος δεν συνδυάζονται με υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε για την Αθήνα, ότι υψηλές συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου παρατηρούνται συνήθως στο κέντρο της πόλης (λόγω μεγάλων εκπομπών από τα αυτοκίνητα) ενώ τα υψηλότερα επίπεδα όζοντος καταγράφονται στα βόρεια προάστια.

Αιωρούμενα σωματίδια

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια, χαρακτηρίζουμε τα, υγρά ή στερεά, σωματίδια που βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή στον αέρα και έχουν κατάλληλες διαστάσεις και ειδικό βάρος που τους επιτρέπουν να παραμένουν σε αιώρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το μέγεθός τους (διάμετρος) κυμαίνεται από 0,0002 μm ως 500 μm ενώ η χημική τους σύσταση ποικίλει και αντανακλά την πηγή από την οποία προέρχονται.

Κύριες ανθρωπογενείς πηγές τους είναι οι βιομηχανικές δραστηριότητες και ειδικά η παραγωγή τσιμέντου και γύψου, τα χυτήρια μεταλλευμάτων, οι κατασκευές και οι αγροτικές δραστηριότητες. Σημαντικές φυσικές πηγές αποτελούν η διάβρωση των εδαφών και των πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, το σπρί της θάλασσας και η καύση της βιομάζας.

Καπνός

Σαν καπνός αναφέρονται τα μικρά σωματίδια τα οποία προέρχονται από ατελείς καύσεις και αποτελούνται κυρίως από άνθρακα και άλλα καύσιμα υλικά. Το μέγεθός τους είναι σχετικά μικρό, μέχρι 1 μm, αλλά είναι ορατά λόγω της μεγάλης ποσότητας τους.

Υδρογονάνθρακες

Μια άλλη κατηγορία ενώσεων, με σημαντική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, είναι οι υδρογονάνθρακες. Με τη συνδρομή τους σχηματίζονται, δευτερογενώς, όζον, φορμαλδεΐδη και διάφορα φωτοχημικά οξειδωτικά.

Κύρια πηγή υδρογονανθράκων είναι η χλωρίδα και κυρίως τα δέντρα, ενώ μόνο το 15% των εκπομπών προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το μεγαλύτερο ποσοστό πηγάζει από την καύση ορυκτών καυσίμων και από τις διαφεύγουσες εκπομπές μηχανών εσωτερικής καύσης και από διυλιστήρια πετρελαίου. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, κύρια πηγή τους είναι οι κεντρικές θερμάνσεις και η βιομηχανία ενώ το καλοκαίρι (λόγω αυξημένων εξατμίσεων) το μεγαλύτερο ποσοστό τους προέρχεται από τα αυτοκίνητα.

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος προστίθεται ως αντικροτικό στα καύσιμα. Με τη αλλαγή της σύστασης του στόλου των αυτοκινήτων και με τη χρήση της αμόλυβδης βενζίνης παρουσιάζεται σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις του. Πλην των αυτοκινήτων, άλλες πηγές μολύβδου αποτελούν η χρήση γαιανθράκων, οι βαριές βιομηχανίες, τα χυτήρια μεταλλευμάτων, τα εργοστάσια μπαταριών και η καύση των απορριμμάτων.

3.0 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

3.1 Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης

Όπως εξηγήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων είναι υπεύθυνες για τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης τα οποία επικρατούν κυρίως στις αστικές περιοχές. Παρ' όλα αυτά, τα επεισόδια ρύπανσης δεν προκαλούνται συνήθως από ξαφνική αύξηση της εκπομπής των ρύπων αλλά οφείλονται σε «δυσμενείς» μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες περιορίζουν σημαντικά την ικανότητα της ατμόσφαιρας να αραιώσει τους ρύπους. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό μερικοί από τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς μηχανισμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά, τον μετασχηματισμό και τελικά την απομάκρυνση των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Το σχήμα 3.1 δείχνει σχηματικά τις ατμοσφαιρικές διεργασίες οι οποίες συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκέμπονται από μία καμινάδα.

α. Οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της καμινάδας, έχει σαν αποτέλεσμα ο θύσανος να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι βέβαια υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται *ενεργό ύψος* της καμινάδας. Το ύψος στο οποίο γίνεται η εκπομπή των καυσαερίων έχει μεγάλη επίπτωση στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί οι συγκεντρώσεις στο έδαφος μειώνονται σημαντικά όσο αυξάνεται το ύψος στο οποίο καταλήγουν οι ρύποι. Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιείται για την μείωση της τοπικής ρύπανσης είναι η αύξηση του ύψους εκπομπής των καυσαερίων (π.χ. αυξάνοντας το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας).

β. Τα καυσαέρια μεταφέρονται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Όπως αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο, ο οριζόντιος άνεμος αποτελεί τον σημαντικότερο μηχανισμό απομάκρυνσης και αραιώσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις στις οποίες πνέουν ισχυροί άνεμοι τα επίπεδα ρύπανσης είναι συνήθως χαμηλά.

γ. Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διαπλάτυνση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραιώση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραιώσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι αναταρακτικές κινήσεις είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη ανάμειξη γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η ανάμειξη πολύ έντονη. Η δράση των αναταρακτικών κινήσεων περιορίζεται στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (~1 χιλιόμετρο) το οποίο ονομάζεται στρώμα ανάμειξης.

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

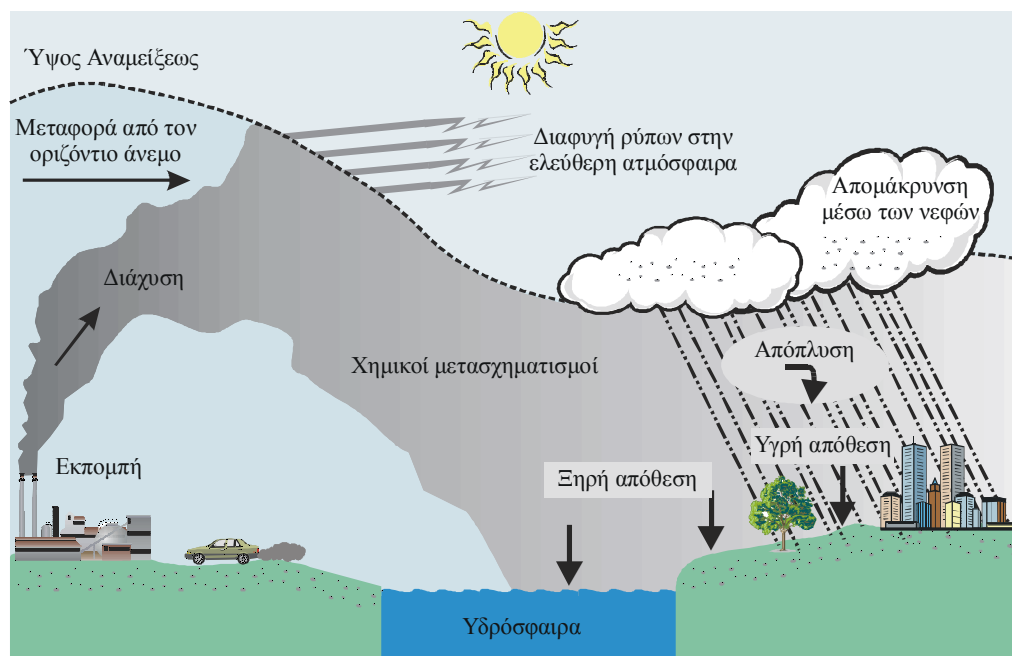
ε. Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της

καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι (δευτερογενείς) ρύποι.

στ. Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται *απόθεση*. Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

- I. *Βαρυτική καθίζηση* ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.
- II. *Ξηρή απόθεση* υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριοι ρύποι τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια
- III. *Υγρή απόθεση* λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορούν να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (*απόπλυση*) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.

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



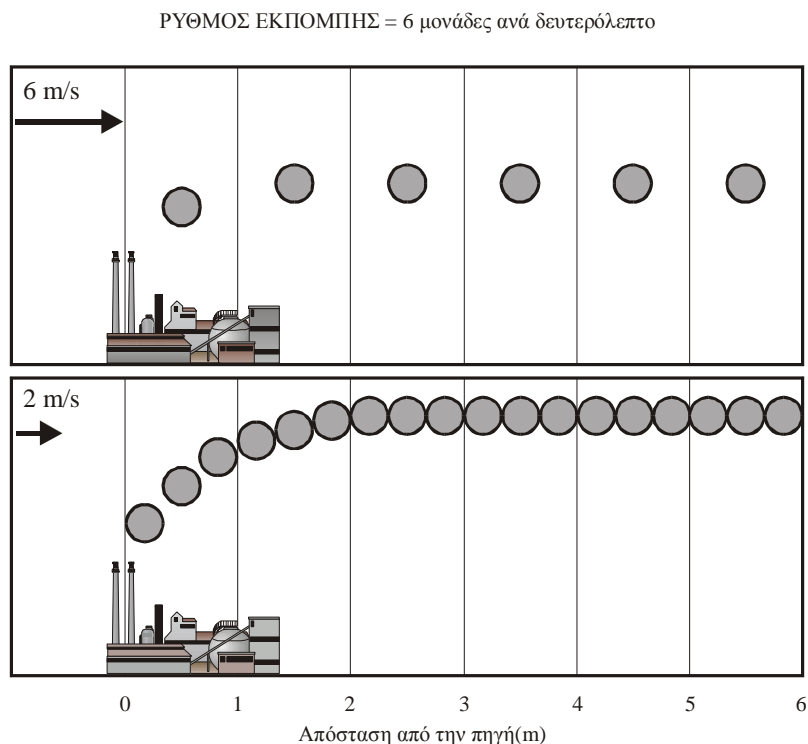
Σχήμα 3.1: Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων.

3.2 Η επίδραση του ανέμου στα επίπεδα ρύπανσης

Η επίδραση του ανέμου στην ρύπανση είναι διπλή. Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι ενώ η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό αραιώσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου είναι καθοριστικής σημασίας ιδιαίτερα στην περίπτωση που η ρύπανση προέρχεται από σημειακές πηγές (π.χ. καμινάδες). Σε αυτή την περίπτωση τα επίπεδα ρύπανσης σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αλλάξουν δραστικά ακόμη και σε περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου μεταβληθεί με μόνο 10° . Σε αυτά τα πλαίσια η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου έχει ευεργετικές συνέπειες γιατί διασκορπίζεται η ρύπανση σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή με αποτέλεσμα οι τοπικές συγκεντρώσεις να είναι χαμηλότερες.

Από την άλλη πλευρά η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει το πόσο γρήγορα θα απομακρυνθούν οι ρύποι από το σημείο εκπομπής. Το σχήμα 4.2 δείχνει την κύρια επίδραση που ασκεί ο άνεμος στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Από το σχήμα αυτό προκύπτει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την συγκέντρωση της ρύπανσης.

Ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες προκαλούν ισχυρότερους ανέμους ενώ άλλες συνδέονται με ασθενείς ανέμους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα βαρομετρικά υψηλά ή αντικυκλώνες. Στο κέντρο τους ο καιρός είναι ηλιόλουστος και οι άνεμοι πολύ ασθενείς. Σε περιοχές οι οποίες βρίσκονται τακτικά υπό την επίδραση στάσιμων αντικυκλώνων οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και όταν συνδυάζονται με υψηλές εκπομπές ρύπανσης, όπως συμβαίνει σε όλες τις μεγαλουπόλεις, ο κίνδυνος επεισοδίου ρύπανσης είναι αυξημένος.



Σχήμα 3.2: Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στην αραίωση των ρύπων. Ο ρυθμός εκπομπής της ρύπανσης είναι ίδιος στα δύο σχήματα (έξι «σφαίρες» το δευτερόλεπτο) και αυτό που διαφέρει είναι η ταχύτητα του ανέμου. Στην πρώτη περίπτωση (ταχύτητα του ανέμου=6 m/s) η συγκέντρωση που προκύπτει είναι 1 μονάδα («σφαίρα»)/m ενώ στη δεύτερη (ταχύτητα του ανέμου=2 m/s) είναι 3 μονάδες («σφαίρες»)/m.

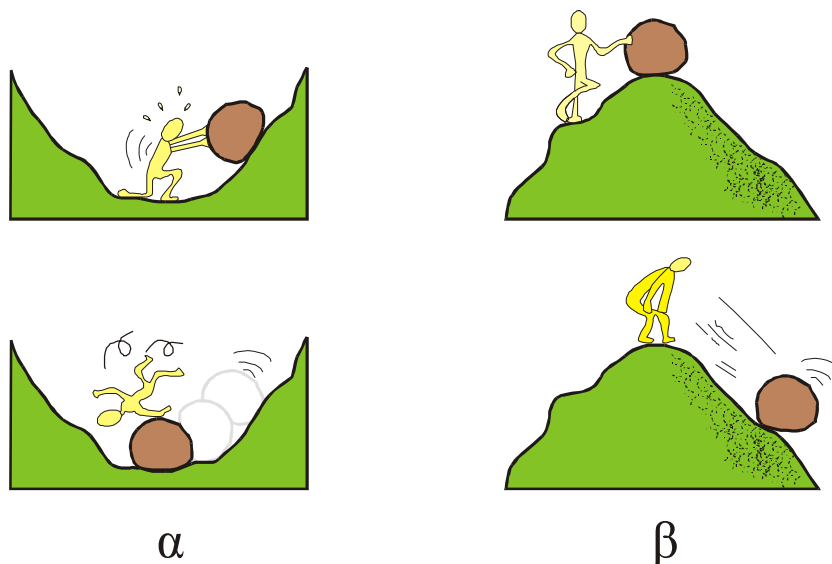
3.3 Ατμοσφαιρική ευστάθεια και αναστροφές

Οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα επηρεάζουν την ανάμειξη των ρύπων. Ιδιαίτερα οι ακανόνιστες ανοδικές/καθοδικές κινήσεις που επικρατούν στο στρώμα ανάμειξης μπορούν να μεταφέρουν και να αναμειξουν τους ρύπους γρήγορα και αποτελεσματικά. Η κατακόρυφη ανάμειξη των ρύπων έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της μέσης συγκέντρωσής τους.

Κατακόρυφες κινήσεις στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκληθούν από πολλές αιτίες. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τον αέρα που αναγκάζεται να ανέλθει όταν συναντά κάποιο τοπογραφικό εμπόδιο καθώς και τις ανοδικές/καθοδικές κινήσεις οι οποίες αναπτύσσονται σε συνδυασμό με βαρομετρικά χαμηλά/υψηλά. Όταν η ατμόσφαιρα τείνει να καταστείλει αυτές τις κινήσεις λέμε ότι επικρατεί ευστάθεια ενώ όταν αυτές οι κινήσεις ενισχύονται λέμε ότι η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας. Οι έννοιες της αστάθειας και της ευστάθειας εμφανίζονται στο σχήμα 3.3.

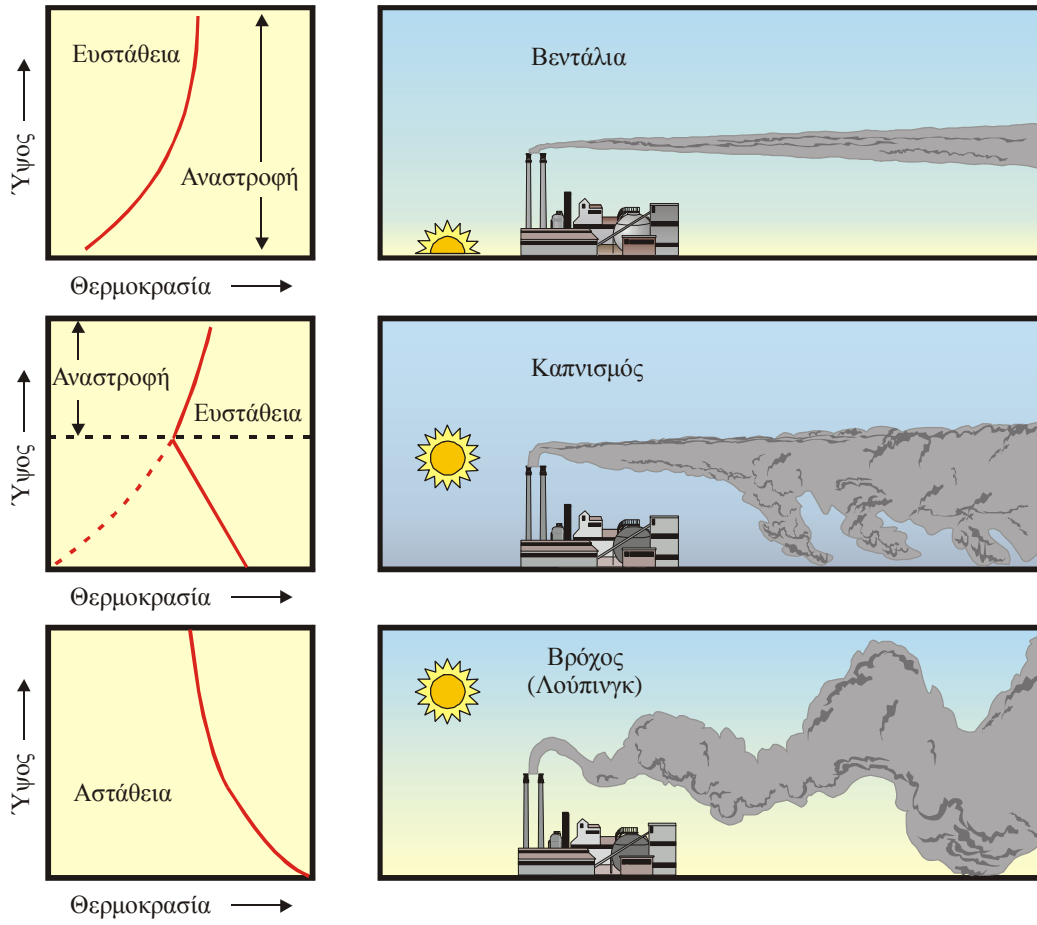
Προκειμένου να προσδιορίσουμε την ευστάθεια της ατμόσφαιρας μελετάμε την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Όταν ο θερμός αέρας επικαλύπτει τον ψυχρό τότε επικρατούν συνθήκες ευστάθειας. Ο ανερχόμενος ψυχρός αέρας θα βρεθεί σε ένα θερμότερο περιβάλλον και λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας θα αναγκασθεί να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Αντίστοιχα, αν ο θερμότερος αέρας αναγκασθεί να κατέρθει θα βρεθεί σε ψυχρότερο περιβάλλον και, λόγω άνωσης, θα επανέρθει στην αρχική του θέση. Χρησιμοποιώντας αντίστοιχα επιχειρήματα μπορούμε να αποδείξουμε ότι όταν ο η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται με το ύψος τότε

επικρατούν συνθήκες αστάθειας και οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα ενισχύονται. Η αναστροφή είναι μια ακραία μορφή ευστάθειας κατά την οποία ο θερμός αέρας επικαλύπτει τον ψυχρό. Η αναστροφή στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα ενεργεί σαν καπάκι που εμποδίζει τις κατακόρυφες κινήσεις.



Σχήμα 3.3: Μία μικρή μετατόπιση του βράχου στα σχήματα α και β προκαλεί τελείως διαφορετικές αντιδράσεις. Η κατάσταση ευστάθειας, η οποία επιδεικνύεται στο σχήμα α, έχει σαν αποτέλεσμα ο βράχος να επιστρέφει στην αρχική του θέση. Αντίθετα, η αστάθεια στο σχήμα β θα ενισχύσει την απομάκρυνση του βράχου από την αρχική του θέση.

Η ατμοσφαιρική ευστάθεια μεταβάλλεται τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Στο σχήμα 3.4 εμφανίζεται η ημερήσια μεταβολή της ατμοσφαιρικής ευστάθειας όπως και η αντίστοιχη επίπτωσή της στην διασπορά της ρύπανσης η οποία εκπέμπεται από μια βιομηχανική καμινάδα. Την νύχτα αναπτύσσεται συνήθως μια αναστροφή η οποία διαρκεί μέχρι τις πρωινές ώρες. Η αναστροφή εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων οι οποίοι εξαπλώνονται κατά κύριο λόγο στο οριζόντιο. Κοιτάζοντας τα καυσαέρια από ψηλά παρατηρούμε ένα σχήμα βεντάλιας με αφετηρία την καμινάδα. Η περιορισμένη κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων έχει σαν αποτέλεσμα, οι συγκεντρώσεις τους κοντά στην επιφάνεια, να είναι πολύ χαμηλές. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση που οι εκπομπές των ρύπων λάμβαναν χώρα κοντά στο έδαφος (π.χ. στην αστική ρύπανση), η αναστροφή θα οδηγούσε σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τις πρωινές ώρες η ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να ζεσταίνει το έδαφος και καταστρέφει σταδιακά τη νυχτερινή αναστροφή. Η αστάθεια που αναπτύσσεται κοντά στο έδαφος ευνοεί τις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις οι οποίες όμως φθάνουν μόνο μέχρι την βάση της ανυψωμένης αναστροφής. Κατά συνέπεια ο καπνός αναμιγνύεται σε ένα σχετικά ρηχό στρώμα δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για υψηλές συγκεντρώσεις. Τέλος η συνεχιζόμενη θέρμανση του εδάφους δημιουργεί ένα βαθύ (~1-2 χιλιόμετρα) στρώμα όπου επικρατεί αστάθεια. Οι έντονες, εναλλασσόμενες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις εξαναγκάζουν τον θύσανο να κινηθεί ανοδικά και καθοδικά σε μια κυματοειδή μορφή. Κατά συνέπεια τα χαρακτηριστικά του θυσάνου από μια βιομηχανική καμινάδα μπορούν να δώσουν ενδείξεις για την ευστάθεια της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 3.4: Κατακόρυφη εξάπλωση των καυσαερίων από καμινάδες σαν συνάρτηση της ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

4.0 ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

4.1 Φωτοχημικό νέφος των μεγαλουπόλεων

Όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα ρύπανσης έχει επικρατήσει στον καθημερινό λόγο να χρησιμοποιούμε τον όρο «Νέφος». Αντίστοιχα στην Αγγλική γλώσσα μιλάμε για SMOG (αιθαλομίχλη). Η λέξη είναι σύνθετη και προέρχεται από τις λέξεις SMOke (αιθάλη) και foG (ομίχλη). Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων υλών, ειδικά κάρβουνου, σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα βασικά συστατικά της βιομηχανικής αιθαλομίχλης είναι τα οξείδια του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία και συχνά ονομάζεται και *Νέφος Αιθαλομίχλης*. Η αιθαλομίχλη σχηματίζεται ευκολότερα από την ομίχλη και διαρκεί περισσότερο απ' αυτήν. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τοποθεσίες τις οποίες οι άνθρωποι επέλεξαν να χτίσουν τις περισσότερες πόλεις χαρακτηρίζονται από κακό εξαερισμό, πράγμα το οποίο ευνοεί τον σχηματισμό αιθαλομίχλης. Μέχρι την δεκαετία του 1960 το Λονδίνο φημιζόταν για την πυκνή ομίχλη του που σε πολλές περιπτώσεις περιόριζε την ορατότητα σε λίγα μέτρα. Λόγω της κακής κυκλοφορίας του αέρα, η επίμονη ομίχλη πολλές φορές διαρκούσε μερικές ημέρες.



Σχήμα 4.1: Κατά την βιομηχανική επανάσταση αυξήθηκε σημαντικά η συχνότητα εμφάνισης ομίχλης στις μεγαλουπόλεις δημιουργώντας αποπνικτικές συνθήκες.

Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές σύγχρονες πόλεις προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας την *φωτοχημική αιθαλομίχλη*.



Σχήμα 4.2: Σχηματισμός φωτοχημικής αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα της Αθήνας.

Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα.

Η φωτοχημική αιθαλομίχλη δεν σχετίζεται με την ατμοσφαιρική υγρασία και αντίθετα εμφανίζεται στις μεγαλουπόλεις σε περιόδους με αίθριο καιρό. Γνωστότερο παράδειγμα είναι η φωτοχημική αιθαλομίχλη του Los Angeles όπου υπήρχαν ιδανικές προϋποθέσεις (εκατομμύρια αυτοκίνητα, αίθριος καιρός και μεγάλη ηλιοφάνεια).



Σχήμα 4.3: Επίπεδα ρύπανσης σε 20 μεγαλουπόλεις. [Από το βιβλίο των Ηνωμένων Εθνών και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, Urban Pollution of the Megacities of the World].

4.2 Ρύπανση εσωτερικών χώρων

Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες οι άνθρωποι περνούν μέχρι και το 90% του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους, το μεγαλύτερο μέρος στην οικία τους. Τα τελευταία, όμως, χρόνια ένας αυξανόμενος αριθμός επιστημονικών ερευνών δείχνουν ότι η ποιότητα του αέρα μέσα στα σπίτια μας, καθώς και σε άλλα κτίρια, μπορεί να είναι περισσότερο υποβαθμισμένη από αυτή του εξωτερικού αέρα ακόμη και αυτού των μεγάλων και βιομηχανικών πόλεων. Έτσι για πολλούς ανθρώπους η απειλή για την υγεία τους είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της έκθεσης τους στην αέρια ρύπανση των εσωτερικών χώρων παρά των εξωτερικών. Επιπρόσθετα, οι ομάδες ανθρώπων που είναι εκτεθειμένες στους ρύπους των εσωτερικών χώρων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, είναι και οι πιο ευαίσθητες, όπως τα μικρά παιδιά, οι ηλικιωμένοι, οι άνθρωποι με χρόνιες παθήσεις, ιδιαίτερα όσοι υποφέρουν από αναπνευστικά και καρδιαγγειακά νοσήματα.

Παρόλο που τα επίπεδα των ρύπων από καθεμιά από τις διαφορετικές πηγές δεν θέτει σε ιδιαίτερο κίνδυνο την υγεία, σχεδόν όλα τα σπίτια έχουν πολύ περισσότερες από μία πηγές που συνεισφέρουν στην αέρια ρύπανση των εσωτερικών χώρων. Έτσι μπορεί να υπάρξει σοβαρότατη απειλή για την υγεία εξαιτίας των αθροιστικών τους αποτελεσμάτων. Επιπλέον ο ανεπαρκής αερισμός των κλειστών χώρων αυξάνει τα επίπεδα των εσωτερικών ρύπων καθώς δεν ανανεώνεται ο αέρας. Ευτυχώς υπάρχουν κάποια μέτρα τα οποία ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο από τις υπάρχουσες πηγές.

Μεταξύ των πηγών εσωτερικής αέριας ρύπανσης περιλαμβάνονται: πηγές καύσης προϊόντων πετρελαίου, αερίου, κηροζίνης, άνθρακα, ξύλου και καπνού τσιγάρων, μονώσεις που περιέχουν αμιάντο, χρώματα, χαλιά και μοκέτες με υγρασία, επίπλωση πρεσαρισμένου ξύλου, προϊόντα καθαρισμού και συντήρησης, κεντρικές θερμάνσεις και συστήματα ψύξης και ύγρανσης, τοίχοι από τσιμέντο, εντομοκτόνα αλλά και ρύποι εξωτερικού περιβάλλοντος που εισέρχονται στους εσωτερικούς χώρους. Η συμβολή στην υποβάθμιση της ποιότητας αέρα από κάθε πηγή εξαρτάται από την ποσότητα ρύπου που εκπέμπει και από το πόσο βλαβερός είναι αυτός. Σε κάποιες περιπτώσεις παράγοντες όπως το πόσο παλιά είναι μια πηγή και πόσο σωστά λειτουργεί (π.χ μια θερμάστρα ή ένας φούρνος) είναι ιδιαίτερα σημαντικοί. Άλλες πηγές όπως τα υλικά δόμησης, η επίπλωση και τα συστήματα κλιματισμού εκπέμπουν ρύπους συνεχώς (λιγότερο ή περισσότερο). Τέλος, πηγές που έχουν σχέση με τις δραστηριότητες στο σπίτι ρυπαίνουν περιστασιακά, όμως υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων παραμένουν και μετέπειτα στο χώρο για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Βασική δράση για την ελάττωση των συγκεντρώσεων των ρύπων είναι ο σωστός και συχνός αερισμός των εσωτερικών χώρων.

Στον πίνακα 4.1 δίνονται συνοπτικά οι πιο κοινοί ρυπαντές οι οποίοι είναι πιθανό να βρεθούν στον αέρα των περισσότερων σπιτιών και εσωτερικών χώρων εργασίας και οι πηγές τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι συγκεκριμένοι ρυπαντές από το χώρο εργασίας μπορούν να μεταφερθούν στο περιβάλλον του σπιτιού απ' τα ρούχα. Αυτό ήταν η αιτία έκθεσης ολόκληρων οικογενειών εργατών σε επικίνδυνα υλικά, όπως ο μόλυβδος (Pb). Για τους εργάτες που απασχολούνταν σε χυτήρια χαλκού ή εργοστάσια άσβεστου, από τους λιμενάρχες που παραλάμβαναν αυτό το υλικό μέχρι τους εργάτες που το διανέμανε, υπήρχε σοβαρός κίνδυνος. Παρόλα αυτά, υπήρχαν μερικές φορές πηγές αυτών των ρυπαντών μέσα στο ίδιο το σπίτι (Pb από παλιό βάψιμο και ασβέστης από παλιά διακοσμητικά υλικά).

Πίνακας 4.1: Τυπικοί εσωτερικοί αέριοι ρυπαντές και οι πηγές τους.

Ρυπαντής	Πηγή
Φορμαλδεύδη	Μόριο τροφής, φύλλο ξύλου, αφρός μονωτικού υλικού, κάπνισμα
NO ₂	Αέρια σόμπας, θερμάστρες κηροζίνης
CO	Θερμάστρες κηροζίνης, σόμπα με ξύλα, καπνός, οχήματα στο γκαράζ
PAH _s (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες)	Καμένο ξύλο, άνθρακας ή κοπριά, βιομηχανικοί διαλύτες, σόμπα με ξύλα
SO ₂	Θερμάστρες κηροζίνης
Cl ₂	Καθαριστικά σπιτιού και τουαλέτας
O ₃	Φωτοαντιγραφικά, εκτυπωτές λέιζερ, ηλεκτροστατικοί καθαριστές αέρος
VOC _s (πτητικές οργανικές ενώσεις)	Μαγείρεμα, αποσμητικά χώρου, σπρέι καθαρισμού, χρώματα, βερνίκια, διαλύτες, χαλιά, έπιπλα
Καπνός και άλλα στοιχεία	Καπνός, μαγείρεμα, αεροζόλ, καθαριστικά χαλιών, σόμπες ξύλου, μόλυβδος από διάβρωση γαλακτώματος χρώματος, ασβέστης και ινώδη μονωτικά υλικά, διακόσμηση, στερεωτικά υλικά,
Μούχλα, μύκητες	Υγρασία (υγρά, κρύα και φτωχά αεριζόμενα δωμάτια)
Ραδόνιο	Πετρώματα, έδαφος, τσιμέντο



Σχήμα 4.4: Σημαντικές πηγές ρύπανσης σε ένα σπίτι.

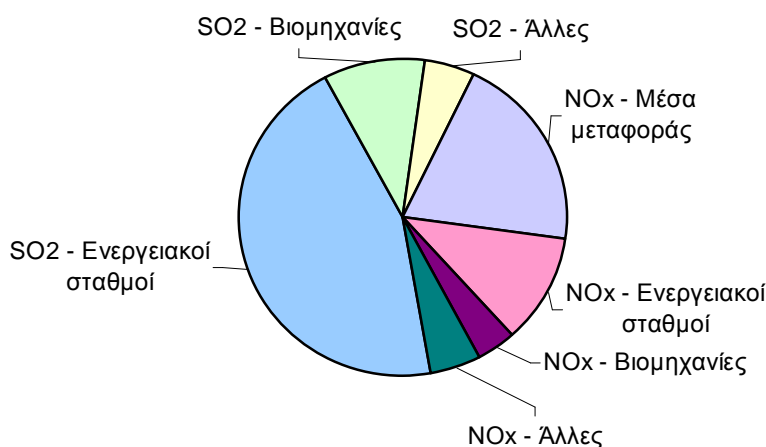
4.3 Οξίνη βροχή

Η όξινη βροχή - βροχή που περιέχει οξέα - αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο πρόβλημα. Η βροχή γίνεται όξινη εξαιτίας αέριων που διαλύονται στο βρόχινο νερό. Τον όρο «όξινη βροχή» χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το 1852 ο Άγγλος χημικός Robert Angus Smith όταν

παρατήρησε τη σχέση μεταξύ της ρυπασμένης ατμόσφαιρας του Λονδίνου και τον όξινο χαρακτήρα των βροχοπτώσεων της.

Ποια είναι όμως τα αέρια αυτά και πως βρέθηκαν στην ατμόσφαιρα:

Είναι γεγονός ότι η κυριότερη αιτία σχηματισμού της όξινης βροχής είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων. Οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν άνθρακα και πετρέλαιο για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειαζόμαστε για να θερμάνουμε και να φωτίσουμε τα σπίτια μας και γενικά να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ενέργεια. Οι ιδιώτες χρησιμοποιούν πετρέλαιο, άνθρακα, ξύλα ή φυσικό αέριο για την θέρμανση των σπιτιών. Αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα και πλοία χρησιμοποιούν βενζίνη και άλλα ορυκτά καύσιμα.



Σχήμα 4.5: Τα οξείδια του θείου και του αζώτου, που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, είναι κυρίως υπεύθυνα για τη δημιουργία της όξινης βροχής. Στο σχήμα εμφανίζεται η κατανομή των πηγών τους.

Πως όμως σχηματίζεται η όξινη βροχή:

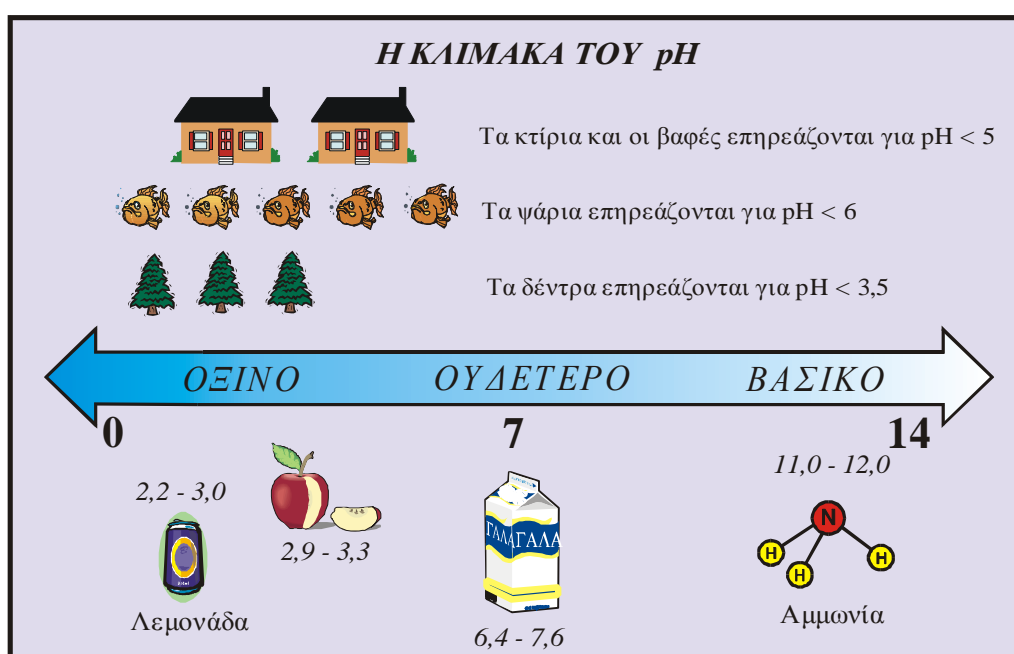
Ένα μέρος από τα εκπεμπόμενα αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα οξείδια του αζώτου αποτίθενται στις περιοχές κοντά στις πηγές εκπομπής τους, όπου μετατρέπονται σε οξέα καθώς αντιδρούν με το νερό, ιδιαίτερα κατά το σχηματισμό της δρόσου και της πάχνης. Από τα εναπομείναντα αερομεταφερόμενα σωματίδια κάποια μετατρέπονται σε μικρά υδατοδιαλυτά σταγονίδια θειικού οξέος (H_2SO_4) και νιτρικού οξέος (HNO_3) μέσω μιας πολυσύνθετης σειράς χημικών αντιδράσεων με τη συμμετοχή του ηλιακού φωτός, των υδρατμών και άλλων αερίων. Τα όξινα αυτά σωματίδια μπορούν να πέσουν αργά στη γη ή να προσκολληθούν στα υδροσταγονίδια των νεφών ή της ομίχλης, δημιουργώντας όξινη ομίχλη. Μπορούν επίσης να αποτελέσουν τους πυρήνες πάνω στους οποίους θα αναπτυχθούν τα σταγονίδια των νεφών, έτσι ώστε με τη βροχή, το χιόνι ή το χαλάζι τα οξέα αυτά να φτάσουν στο έδαφος. Τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της οξύτητας της βροχής.

Μελέτες από τα μέσα της δεκαετίας του '80 οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων που συντελούν στη δημιουργία της όξινης βροχής μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές τους. Από τις περιοχές που αντιμετωπίζουν εντονότερα προβλήματα από την όξινη βροχή είναι η Βορειοανατολική Αμερική, η Κεντρική Ευρώπη και η

Σκανδιναβία. Για την Σουηδία υποστηρίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών του θείου, υπεύθυνων για την όξινη βροχή, προέρχονται από εργοστάσια στην Αγγλία. Υπάρχουν βέβαια περιοχές στις οποίες ο σχηματισμός της όξινης βροχής καθώς επίσης και της όξινης ομίχλης, οφείλεται σε φυσικά αίτια, όπως για παράδειγμα στο Βόρειο Καναδά, όπου οι φυσικές πυρκαγιές των εκτεθειμένων κοιτασμάτων άνθρακα παράγουν τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του θείου.

Σε ποια επίπεδα όμως η βροχή χαρακτηρίζεται όξινη:

Η βροχή είναι ελαφρώς όξινη από φυσικά αίτια, λόγω της ύπαρξης διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα και σε μικρότερη έκταση λόγω της ύπαρξης χλωρίου (που προέρχεται από την θάλασσα). Το διοξείδιο του άνθρακα, που υπάρχει στον αέρα, διαλύεται στη βροχή κάνοντας τη ελαφρώς όξινη με pH μεταξύ 5.0 και 5.6. Έτσι όξινη θεωρείται η βροχή με pH μικρότερο από ~5.0. Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις έχουν μετρηθεί τιμές pH μικρότερες από 3.0 (ιδιαίτερα σε ομίχλη) αλλά συνήθως οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 4.0 και 4.5.



Σχήμα 4.6: Η κλίμακα του pH.

Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν φυτά, δέντρα και υδάτινους πόρους (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Επίσης η όξινη απόθεση διαβρώνει τα υλικά και καταστρέφει ιστορικά αλλά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία σε πολλές πόλεις στον κόσμο. Εκτενέστερη αναφορά στις επιπτώσεις της όξινης βροχής γίνεται στο κεφάλαιο «Επιπτώσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης».

Ο έλεγχος της όξινης απόθεσης είναι ένα δύσκολο πολιτικό πρόβλημα επειδή αυτοί που επηρεάζονται από την βροχή είναι πολλές φορές πολύ μακριά από αυτούς που την προκαλούν. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας μπορούν να ελέγχονται οι εκπομπές θείου (για παράδειγμα χρήση φίλτρων στις καμινάδες και καύσεις ρευστοποιημένων καυσίμων φτωχών σε θείο) και οι εκπομπές αζώτου (χρήση καταλυτικών μετατροπών στα αυτοκίνητα), αλλά υπάρχουν αντιδράσεις λόγω του υψηλού κόστους.

4.4 Αραιώση του στρώματος του όζοντος

Το πρόβλημα



Το ατμοσφαιρικό όζον δημιουργείται από την επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Το ίδιο το αέριο απορροφά έντονα την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς της γης από την έκθεσή τους στην καταστρεπτική αυτή ακτινοβολία η οποία μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές διαταραχές στο γενετικό υπόβαθρο.

Για να περιγράψουμε τις βιολογικές συνέπειες της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι χρήσιμο να την χωρίσουμε σε τρεις ζώνες: UV-C (100-280nm), UV-B (280-315nm) και UV-A (315-400nm). Το σύνολο της UV-C

απορροφάται στην ανώτερη ατμόσφαιρα από τα μόρια οξυγόνου και όζοντος. Από την άλλη πλευρά ένα μέρος της UV-A και σε μικρότερο βαθμό της UV-B μπορεί να διεισδύσει μέχρι το έδαφος. Αυξημένη έκθεση στην UV-B ακτινοβολία μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές βλάβες στα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο όπως καρκίνο του δέρματος, καταρράκτη στους οφθαλμούς και εξασθένιση του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος. Πιστεύεται ότι μια μόνιμη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος της τάξης του 1% μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της τάξης του 2% των περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος πλην του μελανώματος. Η UV-A ακτινοβολία είναι λιγότερο επικίνδυνη και είναι απαραίτητη στον άνθρωπο.

Το 90% του στρώματος του όζοντος βρίσκεται σε ύψος μεταξύ 19 και 23 km και περιβάλλει την γη εδώ και τρία περίπου δεκατομύρια χρόνια. Η διατήρησή του οφείλεται στην εξισορρόπηση των μηχανισμών παραγωγής με τους μηχανισμούς καταστροφής. Ήδη από το 1970 ορισμένοι επιστήμονες έδειξαν ότι το στρώμα του όζοντος μπορεί να διαταραχθεί και να αραιώσει σημαντικά από ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πρώτες αυτές έρευνες εστιαζόταν κυρίως στις υπερηχητικές πτήσεις αεροπλάνων στη στρατόσφαιρα. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από αυτές τις πτήσεις μπορούν να ενισχύσουν την καταστροφή του όζοντος. Τα επόμενα χρόνια η έρευνα επεκτάθηκε και σε άλλες ανθρωπογενείς αιτίες καταστροφής της στοιβάδας του όζοντος. Το 1974 δύο χημικοί του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια προειδοποίησαν ότι τα αυξημένα επίπεδα των χλωροφθοριομένων υδρογονανθράκων (CFCs) μπορούν να οδηγήσουν στην μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος σε παγκόσμια κλίμακα. Μέχρι τότε, τα CFCs θεωρούνταν τελείως ασφαλή, γιατί είναι μη τοξικά, άφλεκτα ενώ στην τροπόσφαιρα δεν συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ευρεία χρήση τους σαν προωθητικά σε φιάλες σπρέι.

Διάφοροι φυσικοί και χημικοί μηχανισμοί έχουν σαν αποτέλεσμα η αραιώση του στρώματος του όζοντος στην Ανταρκτική να είναι πολύ μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ο όρος *τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής* (πολλές φορές ο όρος τρύπα του όζοντος χρησιμοποιείται λανθασμένα για να δηλώσει την αραιώση του στρώματος του όζοντος σε ολόκληρο τον πλανήτη). Ήδη την άνοιξη του 1987, είχε μείνει μόλις το μισό όζον πάνω από την Ανταρκτική ενώ η έκταση της «τρύπας του όζοντος της Ανταρκτικής» είχε καταλάβει εμβαδόν μεγαλύτερο από εκείνο της Ευρώπης. Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο δεν μπορεί να εξηγηθεί αποκλειστικά από την χημεία. Οι άνεμοι κατά την διάρκεια του χειμώνα οδηγούν σε ακραία ψύξη πάνω από την Ανταρκτική, πράγμα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό πολικών στρατοσφαιρικών νεφών. Αυτά τα νέφη σε συνδυασμό με τις χημικές ουσίες που προκαλούν την αραιώση του όζοντος προκαλούν μια δραματική επιτάχυνση της καταστροφής του όζοντος με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας «τρύπας» κατά την διάρκεια της άνοιξης του

νότιου ημισφαιρίου (Σεπτέμβριο / Οκτώβριο). Αργότερα, η θέρμανση του αέρα από την ηλιακή ακτινοβολία έχει σαν αποτέλεσμα να εξαφανίζονται τα στρατοσφαιρικά νέφη και να επιβραδύνεται η καταστροφή του όζοντος.

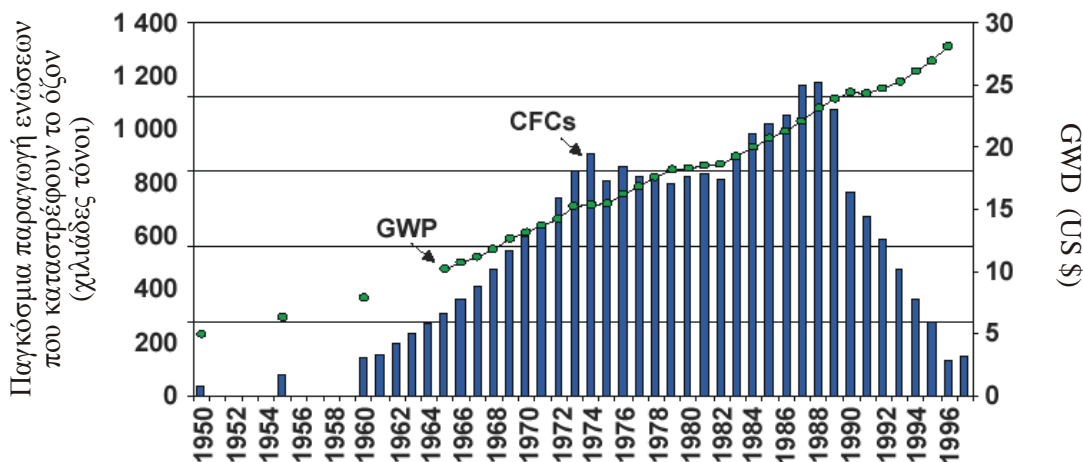
Σημαντική είναι επίσης η σύνδεση της αραίωσης του στρώματος του όζοντος με την κλιματική αλλαγή. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον αποτελεί μια σημαντική πηγή θερμότητας για την στρατόσφαιρα. Η μείωση των συγκεντρώσεων του όζοντος οδηγεί σε μια ψύξη της στρατόσφαιρας, συνθήκες οι οποίες ευνοούν την περαιτέρω καταστροφή του όζοντος. Ακόμη, πολλές από τις ουσίες που καταστρέφουν το όζον συγκαταλέγονται στα θερμοκηπικά αέρια, τα οποία συντελούν στην θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας.

Αιτίες του προβλήματος

Οι αλλαγές στα επίπεδα του στρατοσφαιρικού όζοντος οφείλονται τόσο σε φυσικά όσο και σε ανθρωπογενή αίτια. Παραδείγματα φυσικών παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα όζοντος είναι ο ενδεκαετής κύκλος των ηλιακών κηλίδων, οι ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και οι περιοδικές αλλαγές της διεύθυνσης του ανέμου στην περιοχή του ισημερινού. Γνωρίζουμε όμως ότι τον σημαντικότερο ρόλο παίζουν κάποιες αδρανείς χημικές ενώσεις όπως τα CFCs, τα halons, ο τετραχλωράνθρακας και το μεθυλικό χλωροφόρμιο. Αυτές οι ενώσεις αιωρούνται στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα και σιγά-σιγά μεταφέρονται στην στρατόσφαιρα όπου και καταστρέφουν το προστατευτικό μανδύα του όζοντος. Οι κυριότερες πηγές αυτών των ενώσεων είναι η βιομηχανική και η οικιακή ψύξη, τα καθαριστήρια, οι συσκευές κλιματισμού στο σπίτι και το αυτοκίνητο, μερικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατάσβεση πυρκαγιών και προϊόντα από αφρώδες πλαστικό. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εκπομπές των δύο ευρύτερα διαδεδομένων CFCs, τα CFC-11 και CFC-12, αυξήθηκαν από σχεδόν μηδενικές την δεκαετία του 50 σε περίπου 700 χιλιάδες τόνους ανά έτος την δεκαετία του 70. Ο μεγάλος χρόνος παραμονής αυτών των ενώσεων στην ατμόσφαιρα τους δίνει την δυνατότητα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις όχι μόνο στο οριζόντιο αλλά και στο κατακόρυφο, και να διεισδύσουν τελικά μέσα στην στρατόσφαιρα. Εκεί, λόγω της έκθεσης στην έντονη ακτινοβολία UV-B, απελευθερώνουν τα άτομα βρώμιου και χλωρίου τα οποία αντιδρούν με το όζον και το διασπούν. Σύμφωνα με υπολογισμούς, ένα άτομο χλωρίου μπορεί να καταστρέψει ως 100,000 μόρια όζοντος πριν εξουδετερωθεί αντιδρώντας με άλλες ουσίες. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ο μεγάλος χρόνος παραμονής αυτών των ενώσεων στην στρατόσφαιρα, 50-100 χρόνια, πράγμα το οποίο τα καθιστά μια μακροχρόνια απειλή η οποία μάλιστα μπορεί να δράσει με χρονική υστέρηση.

Εξέλιξη των εκπομπών και των συγκεντρώσεων των ουσιών που καταστρέφουν το όζον.

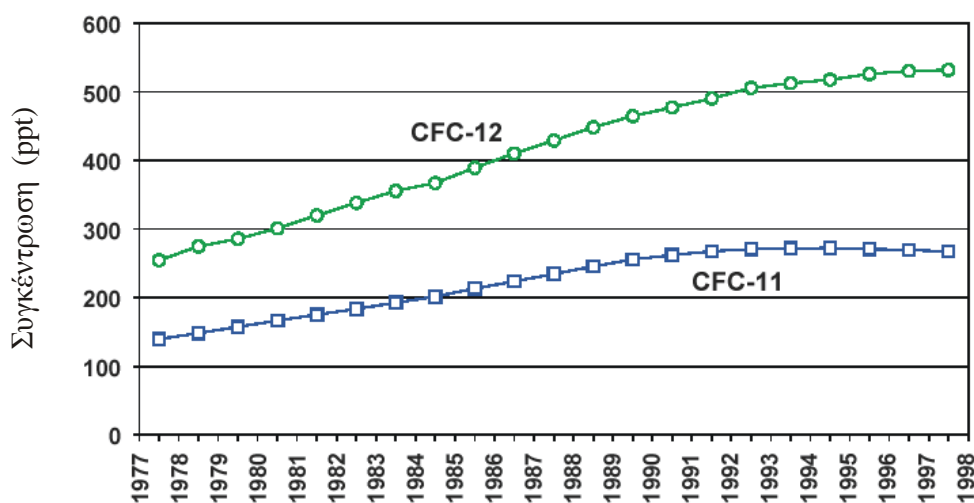
Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το οποίο υπογράφηκε το 1987, περιλάμβανε χρονοδιάγραμμα για την ελάττωση των εκπομπών των CFCs και την αντικατάστασή τους με ενώσεις του βρώμιου, οι οποίες όμως αποδείχθηκε ότι καταστρέφουν το όζον με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό. Το Νοέμβριο του 1992, υπήρξε η συνάντηση της Κοπεγχάγης όπου αποφασίσθηκε η ταχύτερη αντικατάσταση των ουσιών που καταστρέφουν το όζον καθώς και η καθιέρωση ταμείου για την υποστήριξη των χωρών του τρίτου κόσμου.



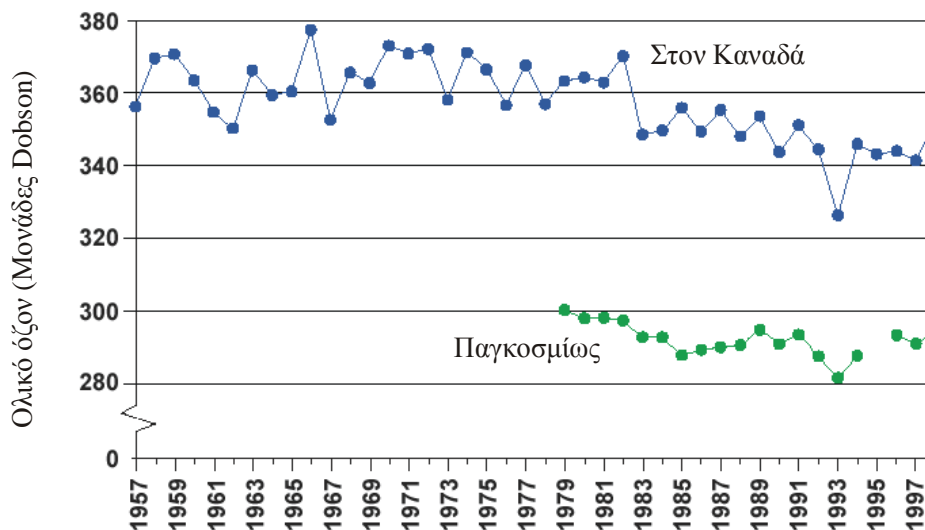
Σχήμα 4.7: Διαχρονική μεταβολή της παγκόσμιας παραγωγής ενώσεων που καταστρέφουν το όζον. Για λόγους σύγκρισης παρατίθεται στο ίδιο σχεδιάγραμμα και η αντίστοιχη μεταβολή του Ακαθάριστου Παγκόσμιου Προϊόντος (GWP).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7, η παγκόσμια παραγωγή CFCs εμφάνισε την μέγιστη τιμή της το 1988 ενώ τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια πτωτική τάση, φθάνοντας το 1997 σε τιμές μειωμένες με 88% σε σύγκριση με την μέγιστη. Σε πολλές προηγμένες χώρες, η παραγωγή των CFCs σταμάτησε το 1996 (εξαιρούνται τα CFCs των οποίων η χρήση χαρακτηρίζεται σαν «απαραίτητη»). Σε ορισμένες μάλιστα χώρες περιορίστηκε και η παραγωγή των HCFCs (υποκατάστατα των CFCs τα οποία καταστρέφουν το όζον με πολύ βραδύτερο ρυθμό).

Αντίστοιχα, οι μέγιστες συγκεντρώσεις του CFC-11 στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα (όχι στην στρατόσφαιρα) εμφανίστηκαν το 1994 και κατόπιν υπήρξε μια μικρή πτωτική τάση. Από την άλλη μεριά τα επίπεδα του CFC-12 τα τελευταία χρόνια δεν δείχνουν μεγάλες μεταβολές (σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8: Η διαχρονική πορεία των συγκεντρώσεων των CFC-11 και CFC-12 στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα.



Σχήμα 4.9: Διαχρονική εξέλιξη της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης του όζοντος στον Καναδά (όπου υπάρχουν μακροχρόνιες μετρήσεις) και σε όλο τον κόσμο. Οι παγκόσμιες μετρήσεις αντιπροσωπεύουν την μέση τιμή της περιοχής ανάμεσα σε 65°N και 65°S.

Η στατιστική μελέτη των μακροχρόνιων μετρήσεων του όζοντος έδειξε μια επιτάχυνση στην αραίωση του στρώματος του όζοντος η οποία ενώ πριν από το 1990 ήταν περίπου 4-5% ανά δεκαετία, ξεπέρασε το 6-7% στη δεκαετία του '90 για το βόρειο ημισφαίριο και το 10% για το νότιο ημισφαίριο, πάνω από τις εύκρατες περιοχές του πλανήτη. Η αραίωση του στρώματος του όζοντος αναμένεται να συνεχισθεί για πολλά χρόνια στο μέλλον λόγω της παρουσίας των CFCs στην κατώτερη ατμόσφαιρα, και την σταδιακή μεταφορά τους στην στρατόσφαιρα.

Η αραίωση της στοιβάδας του όζοντος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από το μήκος κύματος αλλά φαίνεται πως η λεγόμενη ερυθματώδης δόση (δόση απαραίτητη για το κοκκίνισμα ενός μέσου δέρματος) έχει αυξηθεί πάνω από 10% για την περίοδο που υπάρχουν μετρήσεις.



Σχήμα 4.10: Το εξώφυλλο του κόμικ της Περιβαλλοντικής υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών «Στα ίχνη του χαμένου όζοντος».

Δείκτης υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας

Εκτός του ατμοσφαιρικού όζοντος, η μεταβλητότητα της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται και σε πολλούς άλλους παράγοντες. Η επίδραση του *ύψους του ήλιου* είναι προφανής. Η *νέφωση*, επίσης, παίζει κυρίαρχο ρόλο καθώς μπορεί να προκαλέσει ελάττωση της UV-B μέχρι και 80%. Δυστυχώς λόγω της ανομοιογένειας που παρουσιάζουν τα νέφη, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, και των πολύπλοκων διεργασιών διάδοσης και σκέδασης της UV-B μέσα από αυτά, είναι πολύ δύσκολη η παραμετροποίησή τους. Η δυσκολία αυτή εντείνεται ακόμη περισσότερο λόγω της μεταβλητότητας που παρουσιάζεται στο είδος καθώς και το οπτικό βάθος της νέφωσης. Σε μικρότερο, αλλά όχι ασήμαντο, βαθμό η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται από τις μεταβολές της σύστασης της ατμόσφαιρας, και πιο συγκεκριμένα από την *ατμοσφαιρική ρύπανση* και τα *ατμοσφαιρικά αιωρήματα*. Όπως είναι φυσικό, οι παράγοντες αυτοί γίνονται πολύ σημαντικοί σε βεβαρημένες αστικές ή βιομηχανικές περιοχές. Αξίζει επίσης να αναφερθούν το *υψόμετρο* (αύξηση περίπου 6-8% της υπεριώδους ανά 1000 m ανόδου) καθώς και η *ανακλαστικότητα του εδάφους* (ύστερα από μια μέρα σκι φαίνονται στο πρόσωπό μας τα αποτελέσματα της αυξημένης δόσης υπεριώδους ακτινοβολίας που οφείλεται στον συνδυασμό του μεγάλου υψομέτρου και της μεγάλης ανακλαστικότητας του χιονιού).

Μετά τις ανησυχητικές ενδείξεις σχετικά με το στρώμα του όζοντος και την αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας, άρχισε, σε παγκόσμιο επίπεδο, μία κίνηση για την ανάληψη πρωτοβουλιών που στοχεύουν στην ασφαλή ενημέρωση των πολιτών σε θέματα σχετικά με την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και τις επιδράσεις της στο οικοσύστημα. Μεταξύ των ενεργειών αυτών αποφασίστηκε, και εφαρμόστηκε, πιλοτικά στην αρχή, σε πολλά κράτη, η καθιέρωση ενός δείκτη με τον οποίο θα ποσοτικοποιείται, με απλό και κατανοητό από το ευρύ κοινό τρόπο, η δόση της βιολογικά ενεργού υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Ο ηλιακός *δείκτης υπεριώδους* (UV Index) καθιερώθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και εκφράζει μία εκτίμηση των επιπέδων της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται ο άνθρωπος. Η χρησιμότητά του έγκειται στο γεγονός ότι αποτελεί μια προειδοποίηση για τον πληθυσμό σχετικά με την υπάρχουσα ή αναμενόμενη επικινδυνότητα για την υγεία εξαιτίας αυτής της δραστηκής συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο Δείκτης υπολογίζεται με τη χρήση θεωρητικών ή εμπειρικών μοντέλων με βάση την προβλεπόμενη, για την επόμενη ημέρα, τιμή του ολικού όζοντος. Στην Ελλάδα, οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0 ως περίπου 10, ανάλογα με την ώρα της ημέρας. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται κατά το μεσημέρι, εφόσον ο ηλιακός δίσκος δεν καλύπτεται με νέφη. Ανάλογα με την τιμή του Δείκτη αλλά και τον τύπο δέρματος καθορίζεται ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος ασφαλούς έκθεσης στον ήλιο.

5.0 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

5.1 Επιπτώσεις στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου

Οι βλαβερές επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στους ανθρώπους είναι ο βασικότερος λόγος των προσπαθειών που καταβάλλονται για την πλήρη κατανόηση και τον έλεγχο των πηγών εκπομπής των διαφόρων αερομεταφερόμενων ρύπων. Διακρίνουμε τις ισχυρές επιδράσεις, όπου οι ρύποι δρουν για μικρό χρονικό διάστημα και σε δόσεις σχετικά υψηλές, από τις χρόνιες επιδράσεις, όπου οι ρύποι συναντώνται σε μικρές δόσεις, ανεπαρκείς για να δημιουργήσουν μια άμεση δηλητηρίαση, αλλά με έναν επαναλαμβανόμενο τρόπο. Οι ισχυρές επιδράσεις προκαλούν συχνά το θάνατο και δημιουργούνται συνήθως σε εσωτερικούς χώρους ή έχουν σχέση με τοξικά αέρια τα οποία απελευθερώνονται σε εξαιρετικές περιστάσεις (π.χ. βιομηχανικά ατυχήματα). Κάτω από εξαιρετικές συνθήκες, ακόμη και η συνηθισμένη, «κοινωνική» ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να έχει άμεσες συνέπειες.

Αναλυτικά για τους σημαντικότερους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στην υγεία και ευεξία του ανθρώπου είναι γνωστά τα εξής:

- *Μονοξείδιο του άνθρακα*

Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμογλοβίνη του αίματος και να σχηματίσει ανθρακυλαιμοσφαιρίνη ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας. Επίσης επηρεάζεται το κεντρικό νευρικό σύστημα, αρχίζοντας από κεφαλαλγίες και αναπνευστικές δυσκολίες και μπορεί να φτάσει μέχρι το θάνατο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου (απώλεια προσανατολισμού) και σε ακραίες περιπτώσεις σε απώλεια των αισθήσεων.

- *Διοξείδιο του θείου*

Είναι γενικά αέριο αποπνικτικό. Επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και υγρασία. Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων, σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα.

- *Οξείδια του Αζώτου*

Φαίνεται να ασκεί παράλληλη δράση με το διοξείδιο του θείου αλλά εντονότερη. Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου. Χαρακτηριστικό για τους νιτρώδεις ατμούς είναι ότι αν η συγκέντρωσή τους δεν είναι πολύ μεγάλη τα συμπτώματα από την εισπνοή δεν είναι άμεσα αλλά εμφανίζονται μετά από μερικές ώρες.

- *Οζόν*

Είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο. Η παρουσία του στην στρατόσφαιρα συμβάλει αποφασιστικά στην προστασία των ανθρώπων, ζώων και φυτών από την υπεριώδη ακτινοβολία, αντίθετα όμως στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα το όζον αποτελεί ένα ισχυρό και ερεθιστικό ρύπο ο οποίος βλάπτει την ανθρώπινη υγεία, τις αγροτικές καλλιέργειες ακόμη και τα δομικά υλικά. Προκαλεί ελάττωση των πνευμονικών λειτουργιών, βήχα, δύσπνοια, άσθμα. Έκθεση του ατόμου σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις (>9 ppm) μπορεί να προκαλέσει ζάλη εμετούς κ.ά.

Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το όζον είναι η δεύτερη μεγαλύτερη αιτία των πνευμονικών νοσημάτων μετά από τα μικρά σωματίδια, από το κάπνισμα - ενεργητικό και παθητικό - τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και την καύση του ξύλου.

- *Μόλυβδος*

Είναι τοξικός σε όλες τις μορφές του και μπορεί να εισαχθεί στον οργανισμό τόσο από την πεπτική όσο και την αναπνευστική οδό. Χαρακτηριστική είναι η αθροιστική δράση του και η εκλεκτική απόθεσή του στα οστά. Μπορεί να προκαλέσει χρόνια δηλητηρίαση (μολυβδίαση). Έντονα συμπτώματα εμφανίζονται όταν ο μόλυβδος στο αίμα είναι πάνω από 60-100μg, οπότε δημιουργούνται προβλήματα στο ρυθμό παραγωγής του αίματος. Ασκεί μεγαλύτερη επίδραση σε άτομα μικρής ηλικίας προκαλώντας ανωμαλίες στις λειτουργίες των κυττάρων, διαταραχές στις νεφρικές λειτουργίες, καθώς και νευρικές ανωμαλίες.

- *Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs)*

Τα VOCs είναι ποικίλως ερεθιστικά, ναρκωτικά, καρκινογενή κ.λ.π. Οι ενοχλήσεις για το περισσότερο από το 75% του πληθυσμού με συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ερεθισμοί δέρματος και ματιών, χρόνια κόπωση, οφείλονται στην έκθεσή του σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων. Πάνω από 50% του πληθυσμού με τακτική έκθεση στο βενζόλιο παρουσίασε προβλήματα, ενώ περισσότερες από 3000 περιπτώσεις λευχαιμίας αποδίδονται στο βενζόλιο. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα, προκαλούν ερεθισμούς των ματιών, της μύτης και των πνευμόνων καθώς και καταστροφές του δέρματος, του ήπατος και των νεφρών. Η δράση τους είναι συνδυαστική έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι αθροιστικό και σοβαρότερο.

- *Αιωρούμενα σωματίδια.*

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι επιβλαβή για τους πνεύμονες του ανθρώπου, προκαλούν βρογχίτιδες, ερεθισμό των ματιών, δερματικές παθήσεις και αύξηση του αριθμού των θανάτων ιδιαίτερα όταν οι αιωρούμενες ουσίες είναι τοξικές.

- *Ραδόνιο*

Είναι άχρωμο, άοσμο, ραδιενεργό αέριο το οποίο δημιουργείται από τη φυσική διάσπαση του Ουρανίου που περιέχεται στα υλικά με τα οποία κτίζονται τα κτίρια. Η παγίδευση του μέσα στα κτίρια σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο των πνευμόνων. Μεγάλοι Οργανισμοί Υγείας θεωρούν το Ραδόνιο υπεύθυνο για χιλιάδες περιπτώσεις καρκίνου των πνευμόνων που θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί. Επιπλέον αν το άτομο που εκτίθεται σε υψηλές συγκεντρώσεις Ραδονίου στο σπίτι ή στο χώρο εργασίας του, είναι ταυτόχρονα καπνιστής, τότε ο κίνδυνος είναι ακόμη μεγαλύτερος.

5.2 Επιπτώσεις στα ζώα

Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τους υδάτινους πόρους (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Αυτό αποτελεί κυρίως πρόβλημα σε περιοχές όπου οι αντιδράσεις με αλκαλικό έδαφος δεν μπορούν να εξουδετερώσουν τις όξινες εισροές. Σωματίδια φυσικού αλκαλικού εδάφους όταν σαρώνονται από τον αέρα εξουδετερώνουν τα οξέα (π.χ. η Κίνα και οι Δυτικές ΗΠΑ θα είχαν πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα όξινης βροχής αν δεν είχαν αερομεταφερόμενη αλκαλική σκόνη). Μελέτες δείχνουν ότι εκατοντάδες λίμνες τόσο στην Β. Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ και στον Καναδά είναι τόσο όξινες ώστε όλος ο πληθυσμός των ψαριών να έχει αισθητά επηρεαστεί. Σε μια προσπάθεια να μειωθεί η τιμή του PH ρίχνουν ανθρακικό ασβέστιο μέσα στις λίμνες. Σε διάφορες άλλες περιοχές, η οξίνιση πολλών λιμνών και υδάτινων ρευμάτων έχει προκαλέσει την εξόντωση κάποιων ειδών μεταξύ των πληθυσμών των ψαριών, μεταξύ των οποίων και κάποιων ενδημικών.

Επίσης τα βαρέα μέταλλα που αποτίθενται ή εισέρχονται στα φυτά και στα νερά ήταν και εξακολουθούν να είναι πολύ τοξικά για τα ζώα και τα ψάρια. Το αρσενικό, ο μόλυβδος, το μολυβδαίνιο και ο υδράργυρος είναι οι κυριότεροι ρύποι υπαίτιοι για τοξικές επιπτώσεις στα ζώα.

Αέρια και σωματιδιακά φθορίδια προκαλούν βλάβες και απώλειες σε διάφορα ζώα – κτηνοτροφικά και άγρια- καθώς επίσης και στα ψάρια. Η φθορίωση των ζώων παρατηρείται σε βιομηχανικές περιοχές που εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες φθοριδίων. Τα ζώα προσλαμβάνουν τόσο τα φθορίδια που περιέχονται στον αέρα όσο και αυτά που υπάρχουν στα άχυρα και στα χόρτα. Η φθορίωση εκδηλώνεται με ανωμαλίες στη διάπλαση των οστών και των οδόντων και μερικές φορές επέρχεται ο θάνατος. Στις αγελάδες παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής του γάλακτος. Έχει επίσης παρατηρηθεί έντονη θνησιμότητα των μελισσών που βρίσκονται πλησίον βιομηχανιών αλουμινίου. Οι μεταξοσκώληκες είναι επίσης πολύ ευαίσθητοι στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτοψίες σε ζώα μετά τα επεισόδια αιθαλομίχλης στην κοιλάδα Meuse, στη Donora και στο Λονδίνο έδωσαν αποδείξεις για την πρόκληση πνευμονικών οιδημάτων. Ωστόσο η εισπνοή τοξικών ρύπων δεν είναι το σοβαρότερο πρόβλημα όσο η κατανάλωση ρυπασμένων τροφών. Επιπρόσθετα τα μικρά χορτοφάγα ζώα που καταναλώνουν φυτά στα οποία είτε έχουν αποθεθεί ρύποι είτε αυτοί έχουν εισέλθει σ' αυτά, όταν γίνονται τροφή άλλων ζώων μεταφέρουν το πρόβλημα στους υπόλοιπους κρίκους της τροφικής αλυσίδας.

5.3 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το αποτέλεσμα, όπως τα είδη των φυτών, η ηλικία, το ισοζύγιο των θρεπτικών, οι συνθήκες εδάφους, η θερμοκρασία, η υγρασία και το ηλιακό φως. Σε πολύ χαμηλά επίπεδα έκθεσης δεν υπάρχει καμιά ιδιαίτερη επίδραση, σε λίγο μεγαλύτερα μπορεί να υπάρξει ακόμη και θρεπτική αξία, όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου να προσφέρεται ως πηγή θείου για το φυτό, ενώ σε αυξανόμενη έκθεση παρουσιάζονται διάφορες βλάβες, έως τον τελικό θάνατο του φυτού.

Οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο σύστημα του φυτού άμεσα ή έμμεσα. Ο άμεσος τρόπος είναι ανάλογος με την ανθρώπινη εισπνοή. Με τη διάχυση του αέρα μέσα και έξω από το φύλλο, οι αέριοι ρύποι έχουν ένα άμεσο μονοπάτι να εισέλθουν στο κυτταρικό σύστημα της δομής του φύλλου. Συμβαίνει επίσης άμεση απόθεση σωματιδιακής ύλης στις εξωτερικές επιφάνειες των φύλλων, εμποδίζοντας την κανονική αναπνοή και τους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης.

Ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο εσωτερικό του φυτού, είναι μέσω του ριζικού συστήματος. Η απόθεση των αερίων ρύπων στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην περιεκτικότητα σε θρεπτικά, του εδάφους στη γειτονιά του φυτού. Αυτή η αλλαγή των εδαφικών συνθηκών οδηγεί σε άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των αερίων ρύπων στη βλάστηση και στα φυτά.

Βλάβες στα φυτά και στη βλάστηση προκαλούνται από ένα πλήθος παραγόντων, ένας εκ των οποίων είναι η αέρια ρύπανση. Ξηρασία, υπερβολική υγρασία, ζέστη και κρύο, χαλάζι, ζούφια, ζώα, αρρώστιες, φτωχό έδαφος, είναι μερικές από τις αιτίες πρόκλησης βλάβης ή και ζημίας. Εκτιμήσεις θεωρούν ότι λιγότερο από το 5% των απωλειών στη σοδειά οφείλεται στην αέρια ρύπανση. Η επίδραση της αέριας ρύπανσης διαφέρει από γεωγραφική περιοχή σε περιοχή και από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Η αποτυχία της προσδοκώμενης συγκομιδής μπορεί να οφείλεται σε μια τοπική πηγή που εκπέμπει αέριους ρύπους ή σε μια πιο εκτεταμένη και συχνή έκθεση σε αντίξοα επίπεδα ρύπανσης.

Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στα φυτά ταξινομούνται σε ορατά συμπτώματα και μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις. Ορατά συμπτώματα είναι οι αποκλίσεις από την κανονική υγιή εμφάνιση των φύλλων. Στα πλατύφυλλα φυτά, ένα υγιές φύλλο έχει καλό χρώμα, με κανονική δομή κυττάρων στα διάφορα στρώματα. Αποκλίσεις από την υγιή εμφάνιση περιλαμβάνουν κατάρρευση των ιστών και διάφορες διαβαθμίσεις απώλειας χρώματος. Άλλες μορφές ορατής βλάβης σχετίζονται με διάφορες αλλαγές στη φυσιολογία. Η αέρια ρύπανση μπορεί να προκαλέσει πρόωρη γήρανση ή πτώση του φύλλου. Ο μίσχος του φύλλου μπορεί να επιμηκυνθεί ή να παραμορφωθεί. Διακοσμητικά και οπωροφόρα δένδρα μπορούν επίσης να παρουσιάσουν ορατές βλάβες στα άνθη και στους καρπούς, γεγονός το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της παραγωγής.

Οι μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις των αερίων ρύπων έχουν να κάνουν με τη μείωση της ανάπτυξης του φυτού και την αλλαγή των φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών, όπως επίσης και αλλαγές στον κύκλο αναπαραγωγής. Ελάττωση της παραγωγής μπορεί να συμβεί και χωρίς την παρουσία ορατών συμπτωμάτων. Αυτός ο τύπος βλάβης συχνά σχετίζεται με χαμηλού επιπέδου, μακροχρόνια έκθεση στην αέρια ρύπανση.

Οι κυριότεροι τοξικοί ρύποι για τα φυτά είναι:

- το όζον (η δράση του είναι επιβλαβής στα γεωργικά φυτά και ιδιαίτερα στα κηπευτικά και στον καπνό, δημιουργεί λευκές κηλίδες στα φύλλα, οι βελόνες των κωνοφόρων γίνονται καφέ και σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις νεκρώνονται),
- το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου (τα όξινα σωματίδια πέφτοντας με την βροχή στο έδαφος των δασών για δεκαετίες έχουν προκαλέσει ανισορροπία στο έδαφος το οποίο σαν επακόλουθο προκαλεί σοβαρές ανεπάρκειες σε συγκεκριμένα στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Τα δέντρα έτσι γίνονται αδύναμα στα έντομα και στην ξηρασία. Μεγάλο μέρος των δασών στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη δείχνει σημάδια φθοράς εξαιτίας της όξινης βροχής.
- οι φθοριούχες ενώσεις (προσβάλλουν κυρίως το περίγραμμα των μεγάλων φύλλων, όπως της αμπέλου και των μονοκοτυλήδων και δίνουν στα φύλλα τους σταχτί ή ανοικτό πράσινο χρώμα, επίσης πολύ ευαίσθητα σ' αυτές είναι τα οπωροφόρα δέντρα -βερικοκιά, δαμασκηλιά κ.ά.- και τα άνθη - γλαδιόλα, τουλίπα κ.ά.).
- οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) (για παράδειγμα σε υψηλές συγκεντρώσεις αιθυλενίου μαραίνονται τα σέπαλα, προκαλούνται δυσμορφίες στα φύλλα, αποβολή των ανθέων, αποτυχία στο ν' ανοίξουν τα φύλλα κανονικά, αποκοπή των φύλλων).



Γενικά τα αποτελέσματα κυμαίνονται από μικρή ελάττωση της παραγωγής έως εκτεταμένη ορατή βλάβη, ανάλογη του επιπέδου και της διάρκειας έκθεσης. Ορατά σημάδια στα φυτά και στις σοδειές, όπως μαρούλι, καπνός, ορχιδέες, που προκλήθηκαν από την αέρια ρύπανση, μεταφράζονται σε άμεση οικονομική απώλεια, άρα ζημία. Σε αντίθεση, ορατά σημάδια στα φύλλα των σταφυλιών, πατατών ή καλαμποκιού δεν αποτελούν καθοριστική ζημία αν δεν υπάρχει απώλεια στην παραγωγή. Ανάλογα δηλαδή με την περίπτωση καθορίζεται κατά πόσο έχει προκληθεί ζημία από την αέρια ρύπανση.

Μελέτες επιπτώσεων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες έδειξαν ότι καλλιέργειες εκτιθέμενες σε φιλτραρισμένο (μέσω ενεργού άνθρακα) και αφιλτράριστο περιβαλλοντικό αέρα παρουσίασαν

διαφορετική παραγωγή ενώ δεν υπήρχαν ορατά συμπτώματα. Ελάττωση της συνολικής βιομάζας μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικές απώλειες για βρώσιμες σοδειές ή άχυρα. Φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές έχουν παρατηρηθεί σε φυτά που εκτέθηκαν σε αέριους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών στη φωτοσύνθεση, στην απόκριση των στοματίων και στη λειτουργία του μεταβολισμού. Τέτοιες μελέτες έκθεσης έχουν διεξαχθεί κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα βοηθά στον καθορισμό των αιτιών της ελάττωσης της παραγωγής. Εργαστηριακές μελέτες έχουν επίσης ερευνήσει την αλληλεπίδραση των αερίων ρύπων και του αναπαραγωγικού κύκλου ορισμένων φυτών. Ανεπαίσθητες αλλαγές στην αναπαραγωγή ορισμένων ευαίσθητων ειδών καθιστούν αυτά ανίκανα να επιβιώσουν και να ευδοκιμήσουν σε δεδομένο οικοσύστημα.

5.4 Επιπτώσεις στα μνημεία

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συντελεί στην καταστροφή των υλικών με διάφορους τρόπους όπως με διάβρωση λόγω τριβής, με ακαθαρσία (στερεά σωματίδια, ιδίως καπνός) που επικάθεται στα υλικά, μειώνοντας το αισθητικό κάλλος μνημείων και κτιρίων, καθώς και με διάβρωση από όξινες ουσίες και άλλα οξειδωτικά. Η όξινη απόθεση διαβρώνει τα οικοδομήματα σε πολλές πόλεις στον κόσμο, για παράδειγμα στην Αθήνα και τη Ρώμη όπου η οξύτητα των βροχοπτώσεων έχει αρχίσει να παραμορφώνει ανεκτίμητα εξωτερικά μνημεία.

Υλικά στα οποία η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιπτώσεις είναι:

- *Τα μέταλλα*

Βασική επίπτωση των αερίων ρύπων στα μέταλλα είναι η διάβρωση της επιφάνειας, με αποτέλεσμα απώλεια μάζας καθώς και αλλαγή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των μετάλλων.

- *Τα δομικά υλικά και το μάρμαρο*



Πολλά κτίρια στις παλιές και μεγάλες πόλεις είναι εκτεθειμένα σε υψηλές συγκεντρώσεις καπνού, SO_2 και CO_2 για πολλές δεκαετίες. Οι επιφάνειες τους έχουν λερωθεί και είναι εκτεθειμένα και στις χημικές δράσεις των όξινων αποθέσεων. Το διοξείδιο του θείου και η υγρασία αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σχηματίζουν θειικό ασβέστιο (CaSO_4) και γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, με αποτέλεσμα να προκαλείται φθορά τόσο στα δομικά υλικά όσο και στο κονίαμα που τα συνδέει.

- *Τα υφάσματα και οι βαφές τους*

Βασική επίπτωση των αερίων ρύπων είναι το σπάσιμο της ύφανσης εξ αιτίας της απώλειας της ελαστικότητάς τους και η αποχρωμάτωση τους.

- *Το δέρμα, το χαρτί και τα χρώματα*

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) επιδρά στη σύνθεσή τους προκαλώντας σημαντικές φθορές. Μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται στις βιβλιοθήκες πόλεων σε όλο τον κόσμο λόγω της καταστροφής των δερμάτινων καλυμμάτων των βιβλίων. Η κυτταρίνη του χαρτιού επίσης επηρεάζεται από το διοξείδιο του θείου. Το υδρόθειο αντιδρά με τις χρωστικές ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και αμαυρώνει τις λευκές και ανοιχτόχρωμες βαφές.

- *Το καουτσούκ*

Το όζον προκαλεί ρωγμές στα προϊόντα φτιαγμένα από καουτσούκ καθώς σπάει το διπλό δεσμό του άνθρακα του ισοπρενίου από το οποίο συντίθεται το πολυμερές του καουτσούκ. Το φαινόμενο ξεκινά από την επιφάνεια και προχωρά σε βάθος ανάλογα με τις συγκεντρώσεις όζοντος που εκτίθεται το υλικό.

6.0 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Δραστικές, βιώσιμες λύσεις θα πρέπει να βασίζονται στην μείωση των εκπομπών των ρύπων που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Εφόσον οι περισσότεροι ρύποι είναι προϊόντα καύσης, μια πρώτη προσέγγιση για τον έλεγχο των εκπομπών θα πρέπει να στοχεύει στην μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο γενικές προσεγγίσεις:

- η αποδοτικότερη χρησιμοποίηση της ενέργειας, και,
- η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας και κυρίως ανανεώσιμων πηγών όπως είναι η γεωθερμία, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Στο μέτρο που συνεχίζεται σε ευρεία κλίμακα η χρήση ορυκτών καυσίμων, είναι απαραίτητη η εφαρμογή αντιρρυπαντικής τεχνολογίας για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών από τις υπάρχουσες πηγές. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες τεχνικές για τον έλεγχο των εκπομπών της βιομηχανίας και των αυτοκινήτων.

6.1 Έλεγχος των εκπομπών από τις βιομηχανίες

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των βιομηχανικών διεργασιών οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των εκπομπών της ρύπανσης, που προέρχεται από βιομηχανικές μονάδες, καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αναγκών. Στις περισσότερες μονάδες μάλιστα, για τον αποτελεσματικότερο έλεγχο των εκπομπών, χρησιμοποιούνται συνδυασμοί των τεχνικών αυτών.

Για τον περιορισμό των βιομηχανικών εκπομπών υπάρχουν τρεις γενικές προσεγγίσεις:

1. Αλλαγή ή βελτίωση του καυσίμου.

Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται η χρήση καυσίμου με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο (π.χ. χρήση diesel αντί για μαζούτ), η επεξεργασία του κάρβουνου για την απομάκρυνση μέρους του θείου, η χρήση φυσικού αερίου αντί πετρελαίου ή κάρβουνου κ.τ.λ. Η αλλαγή του καυσίμου μπορεί να μειώσει τις εκπομπές των ενώσεων του θείου κατά 30-90%.

2. Έλεγχος των εκπομπών κατά το στάδιο της καύσης.

Παράδειγμα τεχνικής που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των εκπομπών των οξειδίων του θείου αποτελεί η *καύση σε ρευστοποιημένα στρώματα*. Οι βιομηχανικοί καυστήρες αυτής της μορφής λειτουργούν με ένα διαφορετικό τρόπο από τους συνηθισμένους. Αέρας με υψηλές ταχύτητες διαπερνά το στρώμα που περιέχει, εκτός των άλλων, το καύσιμο που πρέπει να αποθιωθεί και τον ασβεστόλιθο που θα απορροφήσει το θείο. Το σύστημα συμπεριφέρεται σαν υγρό που βράζει, καθώς φυσαλίδες ανεβαίνουν διαπερνώντας το στρώμα. Το διοξείδιο του θείου αντιδρά με τον ασβεστόλιθο και δίνει θειικά άλατα.

Η χαμηλότερη παραγωγή NO_x μπορεί να επιτευχθεί με τροποποίηση είτε της αναλογίας αέρα-καυσίμου είτε της θερμοκρασίας καύσης. Παραδείγματα τέτοιων τεχνικών αποτελούν ο συγχρονισμός μίξης καυσίμου-αέρα, η επανακυκλοφορία των αερίων της καύσης, ο διαρκής έλεγχος του διαθέσιμου για καύση οξυγόνου, ο ψεκασμός νερού ή εισαγωγή ατμού στον καυστήρα κλπ.

3. Έλεγχος εκπομπών μετά την καύση.

Σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός από συσκευές συλλογής των σωματιδίων και συσκευών αποθείωσης. Για παράδειγμα ο έλεγχος των σωματιδίων μπορεί να επιτευχθεί είτε με την χρήση *κυκλωνικών συλλεκτών* (φυγόκεντρες διατάξεις οι οποίες είναι ιδιαίτερα αποδοτικές για μεγάλα σωματίδια) είτε με *ηλεκτροστατική κατακρήμνιση* (τα σωματίδια ηλεκτρίζονται και συλλέγονται σε αντίθετα φορτισμένες πλάκες). Επίσης, μια από τις πιο αξιόπιστες και αποδοτικές μεθόδους συλλογής σωματιδίων μικρής διαμέτρου είναι τα *φίλτρα*. Μερικές εκατοντάδες ή και μερικές χιλιάδες φίλτρα, βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μια μεγάλη «σακούλα». Τα σωματίδια κινούνται ανάμεσα στα φίλτρα και προσκολλούνται σ' αυτά. Τα φίλτρα είναι πολύ αποδοτικά, έχουν όμως ορισμένα μειονεκτήματα, όπως υψηλό κόστος, κίνδυνο ανάφλεξης για ορισμένους τύπους σκόνης, υψηλές απαιτήσεις σε διαθέσιμο χώρο και περιορισμούς όσον αφορά τη θερμοκρασία (όχι πάνω 285°C). Ο μέσος χρόνος ζωής ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου 18 μήνες.

Τέλος για την αποθείωση των βιομηχανικών αερολυμάτων χρησιμοποιούνται τόσο υγρές όσο και ξηρές τεχνικές, ανάλογα με την φάση στην οποία γίνεται η κύρια αντίδραση. Σε μερικά συστήματα χρησιμοποιούνται δαπανηρά υλικά τα οποία επαναχρησιμοποιούνται με κατάλληλη επεξεργασία ενώ τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν οικονομικότερα υλικά μιας χρήσης (π.χ. ασβεστόλιθο). Μειονέκτημα της δεύτερης μεθόδου αποτελεί η ανάγκη για διάθεση των αποβλήτων που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες.

6.2 χρήση καταλυτών στα αυτοκίνητα

Το μεγαλύτερο ποσοστό ρύπων, που εκπέμπει ένα αυτοκίνητο, προέρχεται από την εξάτμισή του. Έτσι, οι προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας του αέρα στις αστικές περιοχές εστιάζονται ακριβώς στον έλεγχο αυτών των εκπομπών. Μια από τις σημαντικότερες μεθόδους αντιρρύπανσης είναι η χρήση του καταλυτικού μετατροπέα, ο οποίος είναι μια συσκευή η οποία τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων των αυτοκινήτων με στόχο την μετατροπή των εκπεμπόμενων ρύπων σε αβλαβή για την υγεία καυσαέρια όπως είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα κυριότερα στοιχεία που αφορούν την τεχνολογία των καταλυτών. Η μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται με την χρήση τους έχει ήδη παρουσιασθεί στο κεφάλαιο 2.2.

Σύντομα ιστορικά στοιχεία

Οι πρώτες προσπάθειες μεγάλης κλίμακας για την εφαρμογή καταλυτικών μετατροπέων στον έλεγχο των εκπομπών καυσαερίων από τα αυτοκίνητα ξεκίνησαν από τα τέλη της δεκαετίας του '50 στις ΗΠΑ. Οι μελέτες διεξήχθησαν κατά κύριο λόγο από παραγωγούς καταλυτών, σε συνεργασία με κατασκευαστές συστημάτων μείωσης του θορύβου της εξάτμισης, αλλά δεν οδήγησαν σε πρακτικό αποτέλεσμα γιατί οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θεώρησαν ευκολότερη και οικονομικότερη την τροποποίηση του κινητήρα με χρήση φτωχού μίγματος σε καύσιμο, και εμφύσηση δευτερογενούς αέρα. Η προσπάθεια αναθερμάνθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60, όταν έγινε φανερό ότι οι λύσεις που είχαν επιλεγεί δεν μπορούσαν από μόνες τους να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της νομοθεσίας η οποία γινόταν συνεχώς αυστηρότερη. Το 1967 ξεκίνησε μια μεγάλη ερευνητική προσπάθεια για την μείωση των εκπομπών του αυτοκινήτου με την βοήθεια του καταλύτη. Στην προσπάθεια συμμετείχαν κατ' αρχήν η Ford Motor Company και η Mobil Oil Corporation, με την προσθήκη αργότερα και άλλων πετρελαιοβιομηχανιών των ΗΠΑ καθώς και αυτοκινητοβιομηχανιών της Ευρώπης και της Ιαπωνίας. Τα επόμενα χρόνια, Ευρωπαϊκές (κυρίως Δυτικογερμανικές) εταιρίες κατασκευής εξαρτημάτων αυτοκινήτων άρχισαν την παραγωγή καταλυτικών μετατροπέων. Από το 1974, η πλειοψηφία των νέων αυτοκινήτων των ΗΠΑ ήταν εφοδιασμένη με την πρώτη γενιά καταλυτών για την ελάττωση των εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Η συμμόρφωση στα όρια

εκπομπής των NOx επιτυγχάνονταν με μη καταλυτικές μεθόδους, κυρίως με ανακύκλωση καυσαερίων. Το 1978, η General Motors προώθησε στην αγορά αυτοκίνητα με τριοδικούς καταλύτες, οι οποίοι επιπρόσθετα μετατρέπουν το NO σε άζωτο. Τα επόμενα χρόνια, η χρήση τους γενικεύτηκε και η έρευνα στράφηκε προς την ανεύρεση δραστικών και ανθεκτικών καταλυτών. Η νέα γενιά καταλυτών χρησιμοποιούσε ως ενεργά συστατικά ευγενή μέταλλα (Pt, Rh ή Pd) ενώ επιχειρήθηκε, μέσω της βελτιστοποίησης στον σχεδιασμό του κινητήρα, να συνδυασθούν οι χαμηλές εκπομπές ρύπων με χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Η εφαρμογή αυτών των καταλυτών συνδυάστηκε με την χρήση αμόλυβδης βενζίνης.

Ενώ οι αυτοκινητοβιομηχανίες της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας παρουσίασαν καταλυτικά αυτοκίνητα στην αγορά των ΗΠΑ ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '70, η είσοδός τους στην Ευρωπαϊκή αγορά έγινε μόλις το 1984 ενώ στην Ελλάδα τα πρώτα καταλυτικά αυτοκίνητα άρχισαν να παρουσιάζονται το 1987.

Κατηγορίες καταλυτών

Καταλύτες οξειδωσης (ή διοδικοί)

Ιστορικά, οι πρώτοι καταλυτικοί μετατροπείς που εφαρμόστηκαν περιείχαν καταλυτικό υλικό το οποίο είχε την ικανότητα να προάγει το μονοξείδιο του άνθρακα και τους υδρογονάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Καταλύτες με αναγωγική δράση

Στην συνέχεια, επιχειρήθηκε να συνδυασθεί ο οξειδωτικός καταλυτικός μετατροπέας και με ένα αναγωγικό (καταλύτες διπλής κλίσης) που επιταχύνει την αναγωγή του μονοξειδίου του αζώτου σε άζωτο. Έχει μελετηθεί η εφαρμογή αναγωγικών καταλυτών σε αυτοκίνητα με κινητήρες Diesel αλλά υπάρχουν δυσκολίες στη ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων.

Τριοδικοί καταλύτες

Η ικανοποίηση των σημερινών αυστηρότερων προδιαγραφών, επιτυγχάνεται με τους τριοδικούς καταλύτες οι οποίοι έχουν την ικανότητα να μειώνουν τους τρεις κυριότερους ρύπους, δηλ. τους υδρογονάνθρακες, τα οξείδια του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα. Ένας τυπικός τριοδικός καταλύτης περιέχει λευκόχρυσο (Pt), Παλλάδιο (Pd) και Ρόδιο (Rh) ενώ συχνά προστίθενται και οξείδια μη ευγενών μετάλλων τα οποία δρουν σαν προωθητικά. Για την καλή λειτουργία τους απαιτούν την σωστή ρύθμιση του λόγου αέρα-καυσίμου. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός αισθητήρα οξυγόνου (λήπτης λάμδα) ο οποίος ελέγχει συνεχώς την συγκέντρωση του οξυγόνου στα καυσαέρια και με την βοήθεια ενός ηλεκτρονικού συστήματος γίνεται αυτόματη ρύθμιση στην αναλογία αέρα-καυσίμου στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα.

Διάρκεια ζωής του καταλυτικού συστήματος

Η λειτουργικότητα ενός καταλύτη υποβαθμίζεται εξαιτίας τριών, κυρίως, παραγόντων:

1. Θερμική καταπόνηση.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον καταλύτη μπορούν, σε κάποιες ακραίες καταστάσεις, να φθάσουν τους 900-1000 °C με αποτέλεσμα την θερμική απενεργοποίησή του.

2. Σταδιακή δηλητηρίαση των δραστικών μετάλλων.

Η δηλητηρίαση του καταλύτη οφείλεται στην προσρόφηση ουσιών, που υπάρχουν στα καύσιμα, όπως ο φώσφορος (ο οποίος επίσης προέρχεται από την κατανάλωση λαδιού), ο μόλυβδος (ο οποίος υπάρχει σε μικρή ποσότητα και στην αμόλυβδη βενζίνη) και το θείο.

3. Μηχανική φθορά λόγω δονήσεων και τριβών.

Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα η ωφέλιμη ζωή του ενός καταλυτικού συστήματος να κυμαίνεται από 80,000 έως 100,000 χιλιόμετρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**A. ΞΕΝΗ**

- Ahrens C.D., (1999): Meteorology Today, Brooks/Cole.
- Dobbins R.A. (1979): Atmospheric Motion and Air Pollution, John Wiley and Sons. 324pp.
- Fox L. Donald, Boubel W. Richard, Turner D. Bruce and Stern C. Arthur, (1994): Fundamentals of Air Pollution. Third Edition. Academic Press, Inc. 530 pp.
- Godish Thad, (1994): Air Quality. Second Edition. Lewis Publishers INC., Chelsea, Michigan, U.S.A.. 422pp.
- Griffin R.G., (1994): Principles of Air Quality Management. Lewis Press.
- Hardy R., Wright P., Gribbin J. and Kington J. (1982) The Weather book. Harrow House Limited.
- Masters G.M., (1991): Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall International Ed., U.S.A.
- Seinfeld J.H. and Pandis S.N., (1998): Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons.
- United Nations Environment Programme (UNEP): Urban Air Pollution in Megacities of the World. Blackwell Publishers.

B. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αγγελίδης Μ.Ο., (1993): Περιβαλλοντική Χημεία, Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Αλεξανδροπούλου Α., (1998): Επίδραση των φαινομένων που επικρατούν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στα επίπεδα όζοντος στην Ευρύτερη Περιοχή Αθηνών, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Βασιλικιώτης Γ.Σ., (1989): Χημεία Περιβάλλοντος, εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Γεντεκάκης Ιωάννης, (1999): Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές Τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Ζερεφός Σ. Χρήστος, (1984): Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 381 σ.
- Μελάς Δημήτριος, (1997): Διασπορά Αερίων Ρύπων. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 52 σ.
- Μουσιόπουλος Σ. Νικόλαος, (1991): Φαινόμενα μεταφοράς στην ατμόσφαιρα. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 209 σ.
- Πασχαλίδης - Φυντικάκης Σ., Πασχαλίδης Μ. και Δ. Μελάς, (1993): Επιδράσεις των ρύπων στον άνθρωπο, στα φυτά, στα ζώα και στα υλικά, Περισκόπιο της επιστήμης.
- Πελεκάση Κ., Σκούρτος Μ., (1992): Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Ελλάδα, WWF, εκδ. Παπαζήση, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1989): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική έκθεση, Τόμος 1: Πληροφορίες βάσης, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΙΑ, Αθήνα.

- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1989): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική έκθεση, Τόμος 2: Πηγές ρύπανσης, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΑ, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1989): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική έκθεση, Τόμος 3: Πρωτογενείς ρύποι, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΑ, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1989): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική έκθεση, Τόμος 4: Φωτοχημικοί ρύποι, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΑ, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1995): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα-1994, Τμήμα ποιότητας της ατμόσφαιρας, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΑ, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., (1996): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα-1995, Τμήμα ποιότητας της ατμόσφαιρας, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, ΠΕΡΠΑ, Αθήνα.

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Υπηρεσίες Περιβάλλοντος

- Ιστοσελίδες του ΥΠΕΧΩΔΕ σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση.
Εθνικά όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας
<http://www.minenv.gr/1/12/122/12205/g1220509.html>
Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα
<http://www.minenv.gr/1/12/122/12205/g1220501.html>
Μέτρα της πολιτείας για την ελάττωση της ρύπανσης από κεντρική θέρμανση και άλλες πηγές
<http://www.minenv.gr/1/12/122/12203/g1220303.html>
Τι μπορούμε να κάνουμε για να βοηθήσουμε στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
<http://www.minenv.gr/1/12/122/12203/g1220304.html>
- Ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) - Περιβαλλοντικά Θέματα: Πηγές Αέριας Ρύπανσης
<http://themes.eea.eu.int:80/showpage.php?pg=39344>
- Ευρωπαϊκό Κέντρο για τις Αέριες Εκπομπές - CORINAIR 90 Δεδομένα Εκπομπών.
<http://www.aeat.co.uk/netcen/corinair/corinair.html>
- Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο Ποιότητας Αέρα (European Topic Centre on Air Quality)
<http://www.etcaq.rivm.nl/>
- Ιστοσελίδες της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA -Office of Air and Radiation) με λεπτομερειακό υλικό για την αέρια ρύπανση.
<http://www.epa.gov/oar/aqtrnd95/sixpoll.html>
<http://www.epa.gov/acidrain/effects/envben.html>
<http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html>
http://www.epa.gov/oar/oaqps/peg_caa/pegcaain.html
<http://www.epa.gov/Region2/health/humanhlth.htm>
<http://www.epa.gov/children/air.htm>
<http://www.epa.gov/epaoswer/osw/hazwaste.htm>
- Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Καναδά (Environment Canada)
http://www1.nrc.ec.gc.ca/~soer/default_e.htm

Ερευνητικά Κέντρα και Πανεπιστήμια

- Παγκόσμιο κέντρο χαρτογράφησης του όζοντος.
<http://lap.physics.auth.gr/ozonemaps/>
- Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας
<http://www.elinyae.gr/perivallon/bame/eisigiseis/eisigisi%2010/eis-10-rhgas.htm>
- Ιστοσελίδα του Τμήματος Ατμοσφαιρικών Επιστημών του Πανεπιστημίου UCLA
http://webster.atmos.ucla.edu/ugrads/classes/spr99/spr99_2/scrns/top08.html
- Ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου του Michigan. Το αστικό και βιομηχανικό περιβάλλον.
http://www.sprl.umich.edu/GCL/Notes-1999-Winter/urban_indust_I.html

- Ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου της California - Wilson-Squire Group.
<http://www-wilson.ucsd.edu/education/airpollution/airpollution.html>

- Ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου του Colorado.
<http://irina.colorado.edu/lectures/Lec2.html>

Διάφορες γρήσιμες διευθύνσεις

- ΕΜΕΡ - Πρόγραμμα Συνεργασίας για τον Έλεγχο και την εκτίμηση της μεγάλης κλίμακας μεταφοράς των αέριων ρύπων στην Ευρώπη.
<http://www.emep.int/>
- Κατάλογος της Ευρωπαϊκής πολιτικής και νομοθεσίας για το περιβάλλον.
<HTTP://WWW.EE.GR/F/FAG.HTM>
- Περιορισμός ρύπανσης, προγράμματα περιορισμού ρύπανσης και βιώσιμη ανάπτυξη
<http://www.umich.edu/~nrpcpub/resources/GENp2.pdf>
- Κέντρο Εκπαιδευτικών Τεχνολογιών της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Διαστήματος (NASA): Εξερευνώντας το Περιβάλλον.
<http://www.cotf.edu/ete/>
- Ιστοσελίδα του Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory: Ρύπανση εσωτερικών και εξωτερικών χώρων.
<http://www.lbl.gov/Education/ELSI/pollution-main.html>
- Ποιότητα του αέρα στις προστατευόμενες περιοχές – NatureNet.
<http://www2.nature.nps.gov/ard/arlesson.pdf>
- Εικόνες της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα της γης από το διάστημα (NASA).
http://eol.jsc.nasa.gov/newsletter/html_Mir/atmosphere.html
- Μεγάλη συλλογή από ενδιαφέρουσες φωτογραφίες και εικόνες.
<http://hum.amu.edu.pl/~zbzw/glob/glob1.htm>
- Συλλογή Ψηφιακών Φωτογραφιών
<http://www.corbis.com/>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ

Αέριοι ρύποι (Air Pollutants): Οποιαδήποτε ουσία η οποία εισάγεται άμεσα ή έμμεσα από τον άνθρωπο στην ατμόσφαιρα και πιθανώς έχει επιβλαβείς συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου και/ή στο περιβάλλον σαν σύνολο.

Αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matter): Όλα τα αιωρούμενα στον αέρα στερεά και υγρά σωματίδια εκτός από τους υδρατμούς. Η ομάδα αυτή των ρυπαντών, περιλαμβάνει σωματίδια διαφορετικής χημικής σύστασης και μεγάλου εύρους μεγεθών. Το μέγεθος των αιωρημάτων στην ατμόσφαιρα εκφράζεται με την ακτίνα τους, η οποία κυμαίνεται στην περιοχή 10^{-3} μm έως 10^2 μm . Οι κυριότερες μορφές σωματιδιακών ρύπων είναι η σκόνη από την αποσάθρωση του εδάφους, η ιπτάμενη τέφρα, ο καπνός κ.ά.

Αναστροφή (Inversion): Ατμοσφαιρικό στρώμα στο οποίο η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος. Κάτω από τέτοιες συνθήκες δεν ευνοούνται οι κατακόρυφες κινήσεις αερίων μαζών (ευσταθής ατμόσφαιρα). Η αναστροφή παγιδεύει τους αέριους ρύπους.

Ατμόσφαιρα (Atmosphere): Το μίγμα των αερίων που περιβάλλει έναν πλανήτη και τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του. Με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος, η ατμόσφαιρα της γης μπορεί να χωριστεί στις εξής βασικές περιοχές:

- **Τροπόσφαιρα:** Η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 10-12 km. Στην τροπόσφαιρα δημιουργείται ο καιρός.
- **Στρατόσφαιρα:** Το ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ της τροπόπαυσης (δηλαδή του άνω ορίου της τροπόσφαιρας) και των 50 km από το έδαφος. Είναι η περιοχή όπου βρίσκεται το στρώμα του όζοντος.
- **Μεσόσφαιρα:** Εκτείνεται από την στρατόπαυση μέχρι τα 80 km περίπου και είναι η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας.
- **Θερμόσφαιρα:** Εκτείνεται από την μεσόπαυση μέχρι τα 400 km περίπου και χαρακτηρίζεται από την μεγάλη αραιώση του αέρα.
- **Εξώσφαιρα:** Η ατμοσφαιρική περιοχή πάνω από την θερμόπαυση. Στην περιοχή αυτή τα μόρια μπορούν να διαφύγουν από την έλξη του πεδίου βαρύτητας της γης.

Βιογενείς πηγές ρύπανσης (Biogenic Sources): Βιολογικές πηγές, όπως φυτά και ζώα, οι οποίες εκπέμπουν αέριους ρύπους, κυρίως πτητικές οργανικές ενώσεις. Παραδείγματα βιογενών πηγών είναι η κτηνοτροφία, καθώς και οι καλλιέργειες και τα δάση.

Βιομηχανική Επανάσταση (Industrial Revolution): Η αλλαγή στον οικονομικό και κοινωνικό τομέα που ξεκίνησε από την Αγγλία το 1760 και συνεχίστηκε αργότερα σε άλλες χώρες. Ήταν αποτέλεσμα της αντικατάστασης της χειρονακτικής εργασίας από μηχανές ισχύος και της παραγωγής μεγάλης κλίμακας.

Διαφεύγουσες εκπομπές (Fugitive Emissions): Εκπομπές που οφείλονται σε διαρροές του εξοπλισμού, εξατμιστικές διεργασίες και απώλειες λόγω του ανέμου.

Διοξείδιο του άνθρακα (Carbon Dioxide), CO_2 : Ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο είναι απαραίτητο στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης η οποία αποτελεί και την κύρια διαδικασία παραγωγής οξυγόνου στο γήινο περιβάλλον. Εκτός από τις φυσικές πηγές, το διοξείδιο του άνθρακα εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τις καύσεις που γίνονται για παραγωγή ηλεκτρισμού, μεταφορές και διάφορους βιομηχανικούς σκοπούς.

Διοξείδιο του θείου (*Sulfur Dioxide*), SO₂: Άχρωμο αέριο με έντονη οσμή το μόριο του οποίου αποτελείται από ένα άτομο θείου και δύο άτομα οξυγόνου. Οι πηγές των θειούχων ενώσεων είναι τόσο φυσικές (π.χ. ωκεανοί) όσο και ανθρωπογενείς (π.χ. καύση κάρβουνου). Το SO₂ και τα άλλα οξείδια του θείου έχουν μεγάλη συνεισφορά στην όξινη βροχή.

Εξατμιστικές εκπομπές (*Evaporative Emissions*): Εκπομπές οι οποίες οφείλονται στην εξατμισμό της βενζίνης κατά την διάρκεια ανεφοδιασμού με καύσιμα, κατά την διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα και, σε μικρότερο βαθμό, ακόμη και όταν το όχημα είναι σταθμευμένο. Οι διαφεύγουσες εκπομπές ευθύνονται για ένα μεγάλο μέρος (ως και τα 2/3) των εκπομπών υδρογονανθράκων από βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια θερμών ημερών.

Θερμοκηπικά αέρια (*Greenhouse Gases*): Τα αέρια της ατμόσφαιρας που απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Τα κυριότερα θερμοκηπικά αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, οι χλωροφθοράνθρακες, το υποξείδιο του αζώτου, το όζον καθώς και οι υδρατμοί.

Ιπτάμενη Τέφρα (*Fly Ash*): Αερομεταφερόμενα στερεά σωματίδια τα οποία προέρχονται από την καύση κάρβουνου και άλλων στερεών καυσίμων.

Καπνός (*Smoke*): Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε σε αιωρούμενα σωματίδια που προκύπτουν, κατά κύριο λόγο, ως παραπροϊόντα ατελών καύσεων. Τα σωματίδια αυτά, αν και έχουν ιδιαίτερα μικρό μέγεθος (έως 1 μm), είναι ορατά λόγω της μεγάλης ποσότητάς τους.

Καταλυτικός μετατροπέας (*Catalytic Converter*): Συσκευή η οποία προσαρμόζεται στην εξατμισμό των αυτοκινήτων και περιορίζει τις εκπομπές αέριων ρύπων, όπως τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονανθράκες και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Κλιματική αλλαγή (*Climate Change*): Η έκφραση αυτή χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την αύξηση της θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών εκπομπών θερμοκηπικών αερίων. Κλιματικές αλλαγές μεγάλου μεγέθους έχουν συμβεί στο παρελθόν ως αποτέλεσμα φυσικών μεταβολών.

Μόλυβδος (*Lead*), Pb: Χρησιμοποιείται ως αντικροτικό στην βενζίνη. Άλλες σημαντικές πηγές του μολύβδου στο περιβάλλον αποτελούν οι βιομηχανίες, καθώς και η διάβρωση των πετρωμάτων. Υψηλά επίπεδα μολύβδου στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλούν δυσλειτουργία των νεφρών και μόνιμη εγκεφαλική φθορά. Η σταδιακή καθιέρωση της αμόλυβδης βενζίνης μειώνει δραστικά τα επίπεδα του μολύβδου στην ατμόσφαιρα.

Μονοξείδιο του άνθρακα (*Carbon monoxide*), CO: Αέριο άχρωμο και άοσμο, το οποίο προκύπτει από την ατελή καύση υδρογονανθράκων. Το CO παρεμβάλλεται και μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς του σώματος προκαλώντας σημαντικά προβλήματα υγείας. Περισσότερο από το 80% του CO στις αστικές περιοχές οφείλεται στα αυτοκίνητα.

Ολικά αιωρούμενα στερεά (*Total Suspended Particulates*), TSP: Υγρά ή στερεά σωματίδια - όπως αιθάλη, σκόνη, καπνός, αερολύματα, και αχλίδα - μεγέθους έως 30 μm.

Όζον (*Ozone*), O₃: Δευτερογενής τοξικός ρύπος του οποίου το μόριο αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Το όζον αποτελεί κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους αιθαλομίχλης. Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος υπάρχουν και στην στρατόσφαιρα (στρατοσφαιρικό

όζον – στρώμα του όζοντος) όπου παράγεται από την φωτόλυση του οξυγόνου. Το στρατοσφαιρικό όζον απορροφά έντονα την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς της γης από την έκθεσή τους στην καταστρεπτική αυτή ακτινοβολία.

Οξειδία του Αζώτου (*Nitrogen Oxides*) NO_x: Με τον όρο οξειδία του αζώτου εννοούμε κατά κύριο λόγο το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου, NO και NO₂ αντίστοιχα. Τα οξειδία του αζώτου είναι κυρίως προϊόντα των διάφορων καύσεων και αποτελούν ένα από τα κύρια συστατικά του φωτοχημικού νέφους αιθαλομίχλης.

Όξινη βροχή (*Acid Rain*): Βροχή που περιέχει οξέα με αποτέλεσμα το pH να είναι χαμηλότερο από αυτό του νερού της φυσικής βροχής (pH <5.0). Η αυξημένη οξύτητα οφείλεται συνήθως σε νιτρικά και θειικά οξέα τα οποία συνήθως προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (*Volatile Organic Compounds - VOCs*): Οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους που εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα (πλην μερικών εξαιρέσεων). Οι ενώσεις αυτές συνεισφέρουν στην παραγωγή του όζοντος και στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης ενώ πολλές είναι και οι ίδιες τοξικές. Ως παραδείγματα, πτητικών οργανικών ενώσεων, αναφέρουμε τη βενζίνη, και τους διάφορους διαλύτες που χρησιμοποιούνται στα χρώματα.

Ρύπανση εσωτερικών χώρων (*Indoor air pollution*): Η ρύπανση του αέρα των σπιτιών και γενικότερα των κλειστών χώρων. Ο αέρας στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να είναι πολύ περισσότερο ρυπασμένος από τον εξωτερικό αέρα, ακόμη και αυτού των μεγάλων βιομηχανικών πόλεων. Οι κυριότεροι ρύποι στις περιπτώσεις αυτές είναι τα οξειδία του αζώτου, ο καπνός, ο αμίαντος, οι φορμαλδεΐδες και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Σκόνη (*Dust*): Στερεά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία δημιουργούνται κατά την αποσάθρωση του εδάφους και των υλικών.

Στρώμα του όζοντος (*Ozone layer*): Το ατμοσφαιρικό στρώμα όζοντος της στρατόσφαιρας, που εκτείνεται περίπου από τα 25 – 30 km από το έδαφος. Το στρώμα του όζοντος απορροφά την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία στα μήκη κύματος από 200 – 300 nm περίπου. Η απορρόφηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής πάνω στη γη.

"Τρύπα" του όζοντος (*Ozone Hole*): Διάφοροι φυσικοί και χημικοί μηχανισμοί έχουν σαν αποτέλεσμα η αραιώση του στρώματος του όζοντος στην Ανταρκτική να είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε άλλες περιοχές του πλανήτη, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ο όρος *τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής* (πολλές φορές ο όρος τρύπα του όζοντος χρησιμοποιείται λανθασμένα για να δηλώσει την αραιώση του στρώματος του όζοντος σε ολόκληρο τον πλανήτη). Προκαλείται από την καταλυτική αντίδραση των μορίων του όζοντος με χλωριούχες και βρωμιούχες ενώσεις και εντείνεται λόγω της επίδρασης των ιαζουσών ατμοσφαιρικών συνθηκών που εμφανίζονται το χειμώνα στην Ανταρκτική.

Υδρογονάνθρακες (*Hydrocarbons*): Οργανικές ενώσεις που αποτελούνται από άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Φυσικές πηγές είναι κυρίως η αναερόβια σήψη οργανικής ύλης και η βλάστηση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρωπογενών εκπομπών προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων και από τις διαφεύγουσες εκπομπές μηχανών εσωτερικής καύσης και από διυλιστήρια πετρελαίου. Αποτελούν κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους αιθαλομίχλης.

Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (*Greenhouse Effect*): Θέρμανση των κατώτερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων λόγω της παγίδευσης από τα τριατομικά μόρια της ατμόσφαιρας μέρους της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο με ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της γης. Η υπερβολή του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων (θερμοκηπικών αερίων), οδηγεί σε κλιματική αλλαγή.

Φυσικές πηγές (*Natural sources*): Οι μη ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής ρύπων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι ωκεανοί, η χλωρίδα, οι πυρκαγιές, τα ηφαίστεια καθώς και η αποσάθρωση του εδάφους.

Φωτοχημικό νέφος αιθαλομίχλης (*Smog*): Νέφος που χαρακτηρίζεται από το φωτοχημικό σχηματισμό ατμοσφαιρικών ρύπων με οξειδωτικές ιδιότητες, όπως είναι το O_3 , το NO_2 , οι υδρογονάνθρακες κ.ά. Τα συστατικά του φωτοχημικού νέφους έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου, τη βλάστηση, τα διάφορα υλικά καθώς και στην ορατότητα.

Χλωροφθοράνθρακες (*CFCs*): Ενώσεις, οι οποίες αποτελούνται από χλώριο, φθόριο και άνθρακα. Τα CFCs χρησιμοποιούνται σε συσκευές ψύξης, υλικά συσκευασίας, διαλύτες και σαν προωθητικά αέρια. Έχουν μεγάλη συνεισφορά στην αραίωση της στρώμαδας του όζοντος.