

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ



Δημήτρη Μελά

Τμήμα Φυσικής

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

1. Σύντομα Ιστορικά Στοιχεία

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι νέο φαινόμενο. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές σε νομαδική ζωή ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα γεμίζοντας τον αέρα στις περιοχές κατοικίας 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 μετά Χριστόν στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη. 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. Η βιομηχανική επανάσταση τον 19^ο αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη.



Σχήμα 1. Χαρακτική η οποία εμφανίζει ένα χυτήριο στην βιομηχανική περιοχή Saar της Γερμανίας (1876).

Παρόλο 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. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η πόλη Donora των Ηνωμένων Πολιτειών όπου 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 μόλις 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.

2. Βασικές έννοιες

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα ρύπανσης έχει επικρατήσει στην καθομιλουμένη να λέγεται ότι έχουμε «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*. Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές 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*. Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα.



3. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές

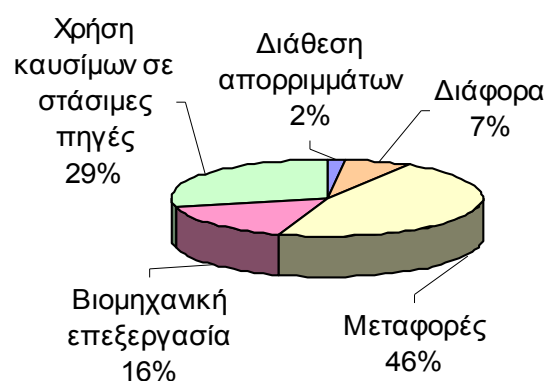
αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη 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

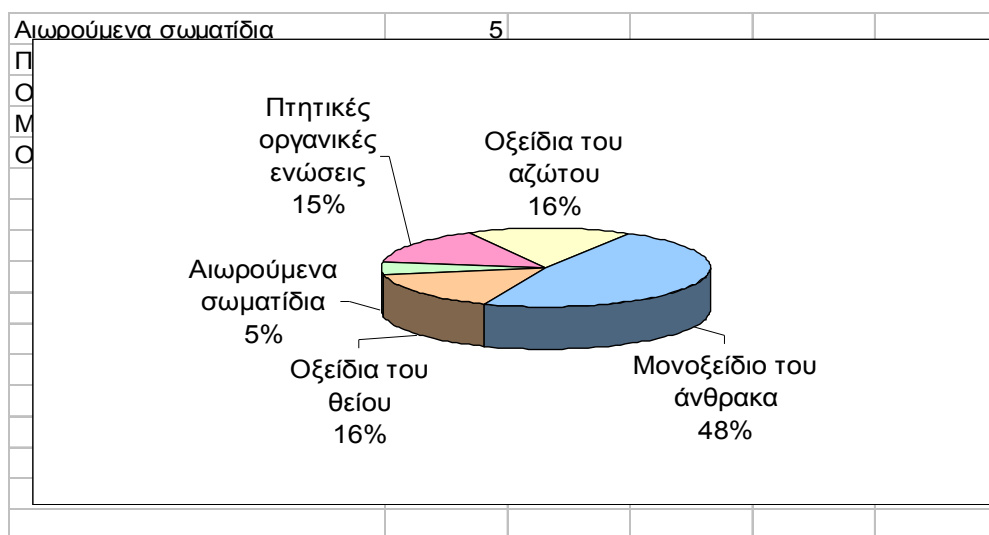
Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

1. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
2. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
3. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
4. Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
5. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
6. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Η ανθρωπογενής ρύπανση διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

1. Κοινωνική ονομάζεται η περιβάλλουσα ή εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση την οποία υφίσταται το σύνολο του πληθυσμού.
2. Επαγγελματική ονομάζεται η ρύπανση του εργασιακού περιβάλλοντος την οποία υφίστανται συγκεκριμένες ομάδες η κατηγορίες εργαζομένων.
3. Προσωπική ρύπανση (κάπνισμα, διάφορα σπρέι κτλ)





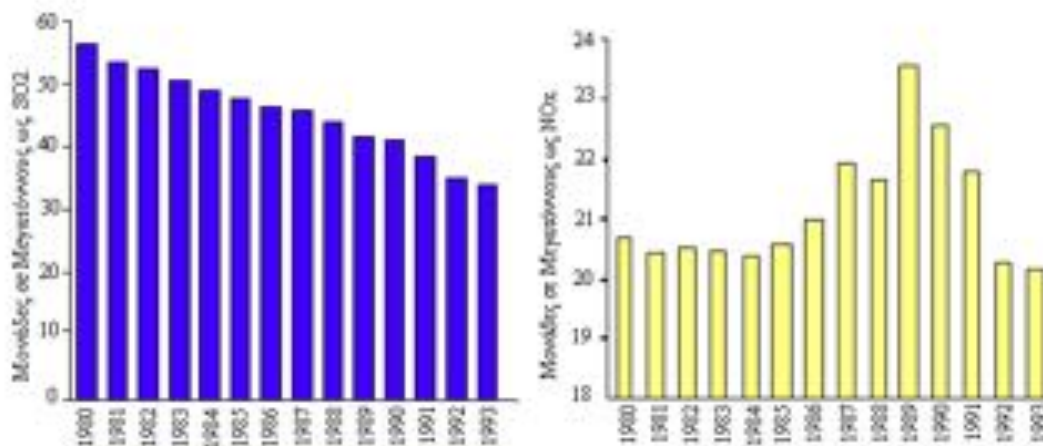
Σχήμα 4. Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών και των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από αυτές στην ατμόσφαιρα.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία).
- Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- Μεταφορές.
- Κεντρική θέρμανση.

Στο σχήμα 4 εμφανίζεται η κατανομή των ανθρωπογενών εκπομπών των πρωτογενών ρύπων ανά κατηγορία πηγής. Όπως είναι φανερό από το σχήμα αυτό, οι μεταφορές και οι βιομηχανικές δραστηριότητες (συμπεριλαμβανομένης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) είναι μαζί υπεύθυνες για ποσοστό μεγαλύτερο του 90% των εκπομπών πρωτογενών ρύπων.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα και για την μείωση των εκπομπών έχουν υπογραφεί διάφορες διεθνείς συνθήκες (π.χ. Γενεύη, 1979, Βιέννη 1985, Νέα Υόρκη 1992 κτλ.). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να επιτευχθεί κάποια πρόοδος και να βελτιωθούν ορισμένες παράμετροι του προβλήματος. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στο σχήμα 5 οι τάσεις στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό οι τάσεις είναι πτωτικές, ιδιαίτερα για τις εκπομπές του διοξειδίου του θείου.



Σχήμα 5. Η τάση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

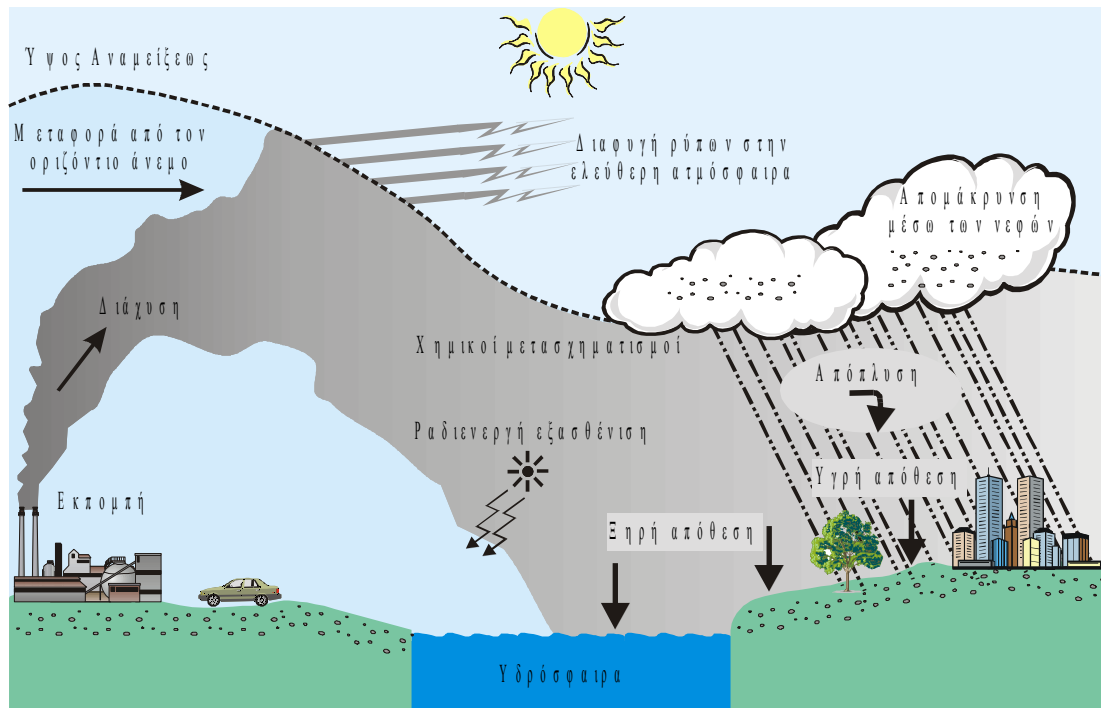
4. Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης

Μια ποικιλία ατμοσφαιρικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για την μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αέριων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Το σχήμα 6 δείχνει σχηματικά τις διαδικασίες οι οποίες συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται 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 θυσάνος να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι βέβαια υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται ενεργό ύψος της καμινάδας. Η διαφορά ανάμεσα στο φυσικό και στο ενεργό ύψος της καμινάδας ονομάζεται αρχική ανύψωση του θυσάνου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του θυσάνου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους είναι χονδρικά αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους εκπομπής, είναι φανερό ότι η ανύψωση του θυσάνου μπορεί, στη ακραία περίπτωση, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με ένα παράγοντα της τάξης του 100.

β. Ο καπνός μεταφέρεται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραίωσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια) οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών. Τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων.



Σχήμα 6. Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων.

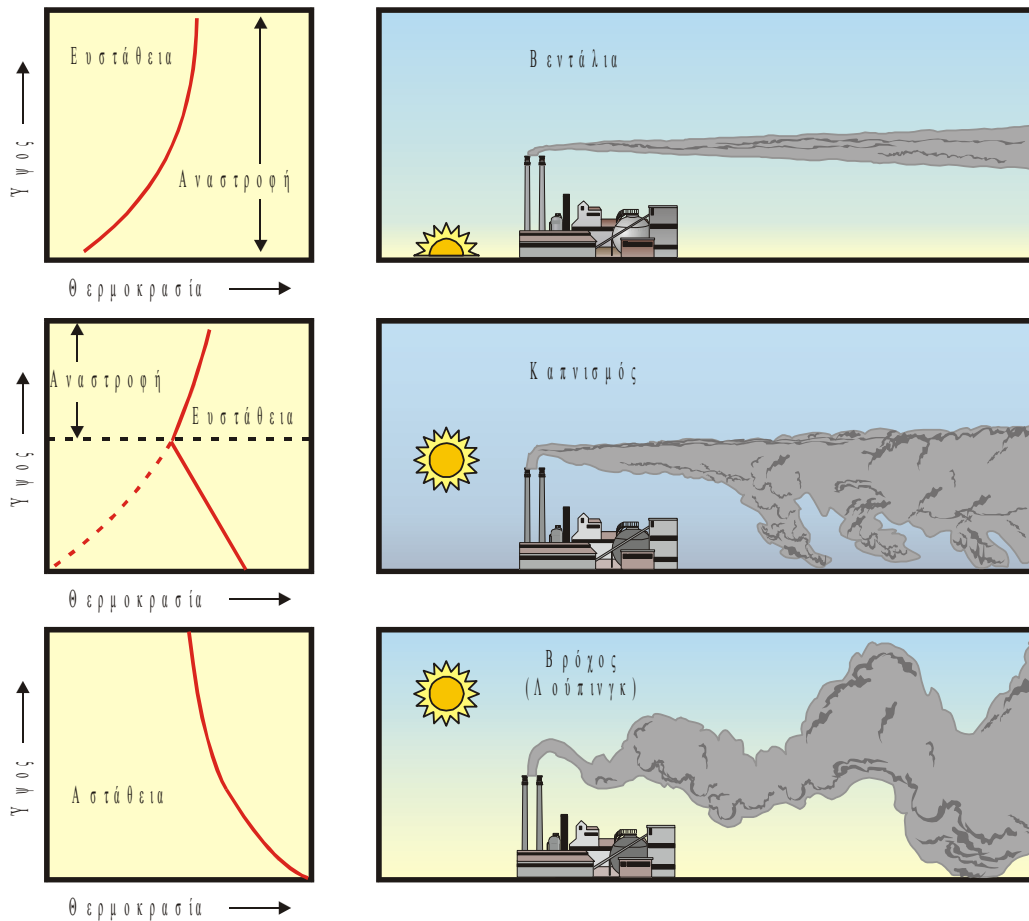
γ. Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διαπλάτυνση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραιώση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραιώσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε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

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

Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

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

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



Σχήμα 7. Η κατακόρυφη ανάπτυξη του θύσανου για διαφορετικές συνθήκες ευστάθειας στην ατμόσφαιρα. Η ευστάθεια ορίζεται από την θερμοβαθμίδα (την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος) η οποία φαίνεται στα αριστερά του σχήματος.

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 απευθείας επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιόμετρα.

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 καινούργιες ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι ρύποι οι οποίοι ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι σε αντιδιαστολή με αυτούς που εκπέμπονται από τις πηγές οι οποίοι ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι.

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

5. Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει μεγάλες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο:

1. Υλικά. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να διαβρώσει τα υλικά και να καταστρέψει ιστορικά αλλά και σύγχρονα κτίρια και μνημεία. Κύρια υπεύθυνη για αυτές τις καταστροφές είναι η *όξινη βροχή*, η οποία οφείλεται στην οξίνιση του νερού της βροχής λόγω διάλυσης στις σταγόνες ενώσεων του θείου και το αζώτου. Και η φυσική βροχή είναι ελαφρά όξινη λόγω του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα αλλά η παρουσία των προαναφερθέντων ρύπων επιδεινώνει την κατάσταση.
2. Φυτά. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να ξεράνει τα φυτά ή να περιορίσει την ανάπτυξή τους. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται και πάλι από την *όξινη βροχή* αλλά σ' αυτή την περίπτωση σημαντική είναι και η συνεισφορά από τους ρύπους που υπάρχουν στον αέρα. Παραδείγματος χάριν, όταν τα επίπεδα του διοξειδίου του θείου ή του όζοντος είναι υψηλά, έχει παρατηρηθεί υποανάπτυξη ή και νέκρωση ορισμένων φυτών.
3. Ορατότητα. Όπως είναι γνωστό η αιθαλομίχλη μειώνει την ορατότητα.
4. Ανθρώπινη υγεία. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εμφανίζονται στην υγεία των ανθρώπων και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες ευπαθείς ομάδες. Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω παραδείγματα:
 - α) Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την αιμογλομίνη του αίματος και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου και πιθανόν σε αναισθησία.
 - β) Το διοξείδιο του θείου επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων
 - γ) Κάποιες ενώσεις υδρογονανθράκων έχουν καρκινογόνο δράση.
 - δ) Το όζον είναι εξαιρετικά τοξικό και έκθεση του ατόμου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ζάλη εμετούς κ.ά.

6. Όξινη βροχή

Το νερό της βροχής είναι φυσικά όξινο λόγω της διάλυσης σε αυτό του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Έτσι, απουσία αερίων ρύπων, η βροχή θα έπρεπε να έχει μια τιμή pH (δείκτης της οξύτητας - Σχήμα 11) γύρω στο 5,6. Ωστόσο, από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, τα επίπεδα του pH της βροχής έχουν σημειώσει σημαντική πτώση (μείωση της τιμής του pH αντιστοιχεί σε αύξηση της οξύτητας του νερού - για μεταβολή του pH κατά μία μονάδα σημειώνεται δεκαπλάσια μεταβολή στην οξύτητα).

Υπεύθυνες για την αύξηση της οξύτητας είναι κυρίως οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία και τις μεταφορές. Τα εκπεμπόμενα αέρια διαλύονται στην υγρασία της ατμόσφαιρας ή στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα οξέα (θειικό και νιτρικό οξύ), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητά τους. Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά.



Σχήμα 8. Τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μεταβολές της οξύτητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η λίμνη Barkevatn στη Νορβηγία, όπου άλλοτε ζούσαν μεγάλοι πληθυσμοί από πέστροφες και πέρκες. Η αύξηση της οξύτητας είχε σαν αποτέλεσμα την πλήρη εξαφάνιση των πληθυσμών αυτών στα τέλη της δεκαετίας του '70.

Βιβλιογραφία

A. Ξένη

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, 1992: Fundamentals of Air Pollution. Third Edition. Academic Press, Inc. 530 pp.

Godish Thad, 1991: Air Quality. Second Edition. Lewis Publishers INC., Chelsea, Michigan, U.S.A.. 422pp.

Seinfeld J.H. and Pandis S.N., 1998: Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons.

B. Ελληνική

Ζερεφός Σ. Χρήστος, 1984: Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής του Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 381 σ.

Κατσούλης Χρήστος, 1989: Στοιχεία Φυσικής του Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. 235 σ.

Μελάς Δημήτριος, 1997: Διασπορά Αερίων Ρύπων. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 52 σ.

Γ. Χρήσιμες διευθύνσεις στο διαδίκτυο

Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο Ποιότητας Αέρα (European Topic Centre on Air Quality)

<http://www.etcaq.rivm.nl/>

Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO)

<http://www.wmo.ch/>

Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA)

<http://www.epa.gov/>

Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Καναδά (Environment Canada)

http://www1.ncr.ec.gc.ca/~soer/default_e.htm

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε

<http://www.minenv.gr/frame.html?2&0&2&/4/41/g4100.html>