

9^η Ενότητα:

Διασπορά των Ρύπων στην Ατμόσφαιρα. Λοφίο. Διάχυση. Χημικός Μετασχηματισμός. Ξηρή Απόθεση. Υγρή Απόθεση. Εκπομπή, Μετάδοση, Ρυπογόνος Επιβάρυνση των Ρύπων.

Σύντομη Γενική Περίληψη

Σήμερα θέτουμε το ερώτημα, τι έχουμε καταφέρει μέχρι τώρα στην προσπάθειά μας να Σας ενημερώσουμε γύρω από τα προβλήματα τους Περιβάλλοντος; Συνολικά ολοκληρώσαμε την περιγραφή των σπουδαιότερων ρύπων που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα., δηλαδή το πρώτο από τα 3 μέρη του φυσικού Περιβάλλοντος.

Προς τούτο περιγράψαμε κατ'αρχάς τους σημαντικότερους ρύπους, που δημιουργούνται από τις διαδικασίες της καύσης των καυσίμων και αποτελούν τα 90% της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Εδώ απλώς αναφέρουμε, ότι οι σημαντικότεροι ρύποι από την καύση των καυσίμων είναι: Μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, αιθάλη, μονοξείδιο και διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου, υδρόθειο, στερεά σωματίδια, βαρέα μέταλλα, χλώριο, φθόριο, διοξίνες και φουράνια.

Στη συνέχεια εξηγήσαμε πώς από αυτούς τους πρωτογενείς ρύπους, που δημιουργούνται στο θάλαμο καύσης των καυσίμων, προκύπτουν, όταν αυτοί οι ρύποι καταλήξουν στην ατμόσφαιρα, οι λεγόμενοι δευτερογενείς ρύποι, όπως το διοξείδιο του αζώτου και τα φωτοχημικά οξειδωτικά με κύριο αντιπρόσωπο το όζον. Κατόπιν εξηγήσαμε, ότι υπάρχει το λεγόμενο «κακό όζον», που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης, δηλαδή στην τροπόσφαιρα και έχει αρνητικές ιδιότητες για τον άνθρωπο, τα φυτά και τα υλικά. Στη συνέχεια εξηγήσαμε, ότι υπάρχει και το λεγόμενο «καλό όζον», που βρίσκεται στο δεύτερο στρώμα της ατμόσφαιρας επάνω από την επιφάνεια της γης, δηλαδή στην στρατόσφαιρα. Το «καλό όζον» έχει την πολύ καλή ιδιότητα, ότι φιλτράρει ένα μεγάλο μέρος της επιβλαβούς υπεριώδους ακτινοβολίας που έρχεται από τον Ήλιο, κάνοντας έτσι δυνατή την διατήρηση της ζωής επάνω στη γη μας. Επίσης εξηγήσαμε την όξινη βροχή.

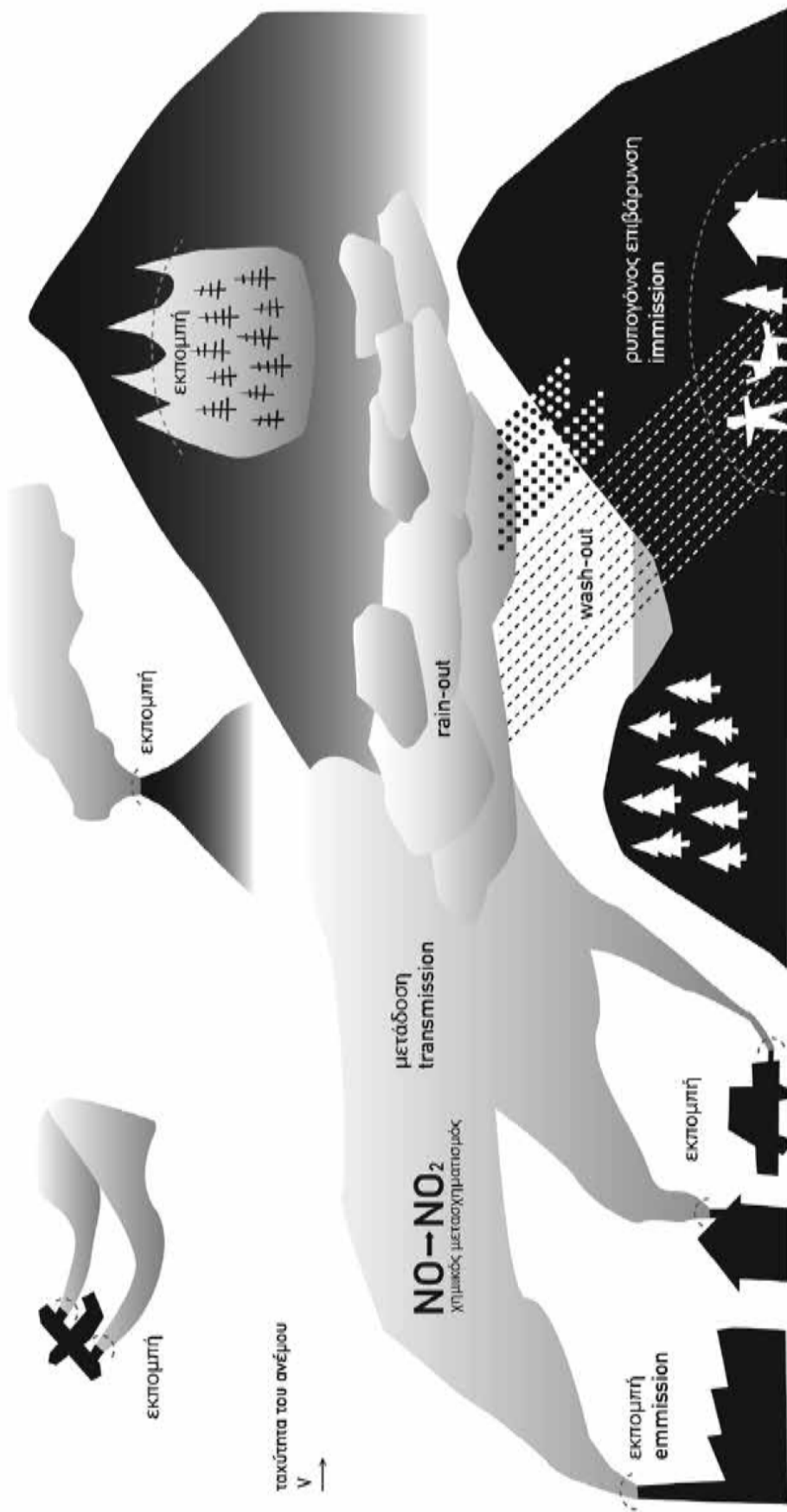
Στη συνέχεια ασχοληθήκαμε με το πολύ σημαντικό πρόβλημα του καπνίσματος. Κατόπιν μας απασχόλησαν τα υπόλοιπα 10% της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, δηλαδή οι ρύποι που δημιουργούνται από τον οικιακό και γεωργικό τομέα. Όλα όσα αναφέραμε μέχρι τώρα, ανήκουν στην ανθρωπογενή ρύπανση της ατμόσφαιρας, δηλαδή τη ρύπανση της ατμόσφαιρας που δημιουργεί ο άνθρωπος.

Υπάρχει όμως και η φυσική ρύπανση της ατμόσφαιρας, που οφείλεται π.χ. σε εκρήξεις ηφαιστειών, σε φυσικές πυρκαγιές (σε δάση, σαβάνες και στην εν γένει βλάστηση), σε αμμοθύελλες, σε χημικές διαδικασίες κατά την διάρκεια καταιγίδων και σε διαδικασίες αποσύνθεσης ή και διάβρωσης.

Στο ενδιάμεσο, προκειμένου να αποφευχθεί ίσως κάποια μονοτονία από την συνεχή περιγραφή μόνο ρύπων, περιγράψαμε λεπτομερώς τόσο το φυσικό όσο και το βλαβερό ανθρωπογενές Φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Το τελευταίο είναι υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή του Πλανήτη μας.

Διασπορά ή Εξάπλωση των Ρύπων στην Ατμόσφαιρα

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με τη δημιουργία των ρύπων, είτε αυτοί είναι ανθρωπογενείς, είτε είναι φυσικοί. Τώρα θα περιγράψουμε, πώς αυτοί οι ρύποι φτάνουν στο φυσικό Περιβάλλον, δηλαδή στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος και πώς έτσι μπορούν να επηρεάσουν τον άνθρωπο και τους λοιπούς «αποδέκτες».



Σχήμα 2: Διασπορά των Ρύπων στην Ατμόσφαιρα.

Στη συνέχεια θα χρειαστεί να περιγράψουμε με Σχήματα περισσότερα φυσικά φαινόμενα στην οριζόντια διεύθυνση και προκειμένου τα Σχήματα αυτά να είναι καλλίτερα ευανάγνωστα, θα υπάρχουν σε πλαγιαστή μορφή.

Οι ρύποι που προέρχονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, καταλήγουν στην ατμόσφαιρα (βλέπε Σχήμα 2, σελ. 79):

- Στην περίπτωση ενός βιομηχανικού λέβητα μέσω της καπνοδόχου,
- Στην περίπτωση ενός οχήματος μέσω της εξάτμισης,
- Στην περίπτωση ενός αεροπλάνου μέσω των ακροφυσίων, δηλαδή μέσω του ακραίου τμήματος των κινητήρων.
- Στην περίπτωση μιας ανοιχτής φωτιάς, π.χ. μιας πυρκαγιάς δάσους, απευθείας στην ατμόσφαιρα.

Σε μια έκρηξη ηφαιστείου, δηλαδή στην περίπτωση της φυσικής ρύπανσης της ατμόσφαιρας, οι ρύποι καταλήγουν στην ατμόσφαιρα μέσω του κρατήρα, ενώ σε ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες μέσω των ανοιγμάτων του κτηρίου, δηλαδή μέσω της πόρτας, των παραθύρων ή του τεχνητού συστήματος εξαερισμού του κτηρίου.

Πριν ξεκινήσω όμως με την περιγραφή της διασποράς, δηλαδή της εξάπλωσης των ρύπων στην ατμόσφαιρα, θα ήθελα να εισαγάγω μία πολύ σημαντική έννοια, δηλαδή την έννοια της **συγκέντρωσης** ενός ρύπου κατ' αρχάς στην ατμόσφαιρα. Στην 2^η Ενότητα, σελ 18 είχαμε αναφέρει την πολύ σημαντική για το Περιβάλλον «αρχή του Παράκελσου». Τα αυθεντικά λόγια του Παράκελσου είναι: «Όλα τα πράγματα είναι δηλητήριο και τίποτα δεν είναι δηλητήριο. Μόνο η δόση ορίζει, αν κάτι είναι δηλητήριο ή όχι...». Στην 2^η Ενότητα, σελ. 19 αναφέραμε, ότι ένας μέσος άνθρωπος αναπνέει ημερησίως 15 έως 20 κυβικά μέτρα αέρα. Αφού όμως γνωρίζουμε ποιόν όγκο αέρα αναπνέει ο άνθρωπος ημερησίως, αρκεί προκειμένου να ορίσουμε τη δόση ενός ρύπου που δέχεται ο άνθρωπος ημερησίως, να γνωρίζουμε ποια ποσότητα του ρύπου υπάρχει π.χ. σε ένα κυβικό μέτρο αέρα. Αυτό όμως ακριβώς, δηλαδή η ποσότητα ενός ρύπου μέσα σε ένα κυβικό μέτρο του αέρα της ατμόσφαιρας ονομάζεται **συγκέντρωση** του ρύπου στην ατμόσφαιρα. Ας κάνουμε όμως ένα αριθμητικό παράδειγμα. Έστω λοιπόν, ότι υπάρχει στην ατμόσφαιρα ο ρύπος διοξείδιο του θείου και ότι η συγκέντρωσή του είναι μισό γραμμάριο διοξειδίου του θείου μέσα σε ένα κυβικό μέτρο αέρα. Η δόση σε διοξείδιο του θείου που δέχεται ένας άνθρωπος σε μία ημέρα είναι λοιπόν ίση με τη συγκέντρωση του ρύπου στην ατμόσφαιρα, δηλαδή μισό γραμμάριο διοξειδίου του θείου μέσα σε ένα κυβικό μέτρο αέρα πολλαπλασιασμένη επί τον όγκο του αέρα που αναπνέει ο άνθρωπος σε μία ημέρα, π.χ. 20 κυβικά μέτρα αέρα. Δηλαδή, η δόση σε διοξείδιο του θείου που δέχεται ο άνθρωπος συνολικά σε μία ημέρα, είναι μισό γραμμάριο ανά κυβικό μέτρο αέρα επί 20 κυβικά μέτρα αέρα = 10 γραμμάρια διοξειδίου του θείου. Έτσι έγινε αντιληπτή η σημασία της έννοιας συγκέντρωση ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα. Στην 2^η Ενότητα, σελ. 18 είχαμε αναφέρει, ότι Ειδικοί Επιστήμονες έχουν ορίσει για όλους τους σημαντικούς ρύπους οριακές τιμές για τη δόση του εκάστοτε ρύπου, δηλαδή δόσεις που μπορεί να δεχτεί ο άνθρωπος, δίχως αυτό να έχει την οποιαδήποτε συνέπεια στην υγεία του (επ' αυτού θα επανέλθουμε σε άλλη Ενότητα). Είναι δε φανερό, ότι ένας ρύπος στην ατμόσφαιρα είναι τόσο πιο επικίνδυνος π. χ. για τον άνθρωπο, όσο η συγκέντρωση του ρύπου στην ατμόσφαιρα είναι μεγαλύτερη.

Μετά από αυτή τη σημαντική παρένθεση επιστρέφουμε τώρα στη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα..

Κατ' αρχάς θα περιγράψουμε τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα, όταν οι συνθήκες είναι «κανονικές». Αυτό σημαίνει ότι το έδαφος, στο οποίο γίνεται η

διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι επίπεδο και οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι «κανονικές». Αργότερα θα περιγράψουμε τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα, όταν π.χ. η διασπορά των ρύπων γίνεται μέσα σε μία κοιλάδα ή οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι «ειδικές», όπως π.χ. όταν επικρατεί άπνοια ή όταν υπάρχει ένα λεγόμενο στρώμα αέρα στην ατμόσφαιρα, στο οποίο επικρατεί θερμοκρασιακή αναστροφή. Όλα αυτά όμως θα τα εξηγήσουμε λεπτομερώς με απλό και κατανοητό τρόπο, όταν θα Σας εξηγήσω το χειμερινό και καλοκαιρινό «Νέφος».

Την διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα θα την περιγράψουμε για την περίπτωση, που τα καυσαέρια δημιουργούνται κατά την καύση οποιουδήποτε καυσίμου σε ένα λέβητα και καταλήγουν στην ατμόσφαιρα μέσω μίας καπνοδόχου (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82). Η διασπορά των ρύπων οποιασδήποτε άλλης προέλευσης είναι μία ειδική περίπτωση αυτού, που θα περιγράψουμε.

Όταν τα καυσαέρια καταλήγουν στην ατμόσφαιρα εγκαταλείποντας την καπνοδόχο (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82), καταλαμβάνουν ένα χώρο με ένα ορισμένο σχήμα. Τον χώρο αυτό με το περιεχόμενό του τον ονομάζουμε θύσανο (από την αγγλική λέξη plume). Τον θύσανο κατά κανόνα δεν τον βλέπουμε, γιατί σχεδόν όλοι οι ρύποι είναι άχρωμοι. Υπάρχουν όμως δύο ειδικές περιπτώσεις, που μπορούμε να δούμε τον θύσανο, δηλαδή τον χώρο που καταλαμβάνουν τα καυσαέρια εγκαταλείποντας την καπνοδόχο. Οι δύο αυτές περιπτώσεις είναι:

1. Όταν η καύση του καυσίμου δεν είναι καλά ρυθμισμένη, με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να περιέχουν πολύ καπνό (βλέπε 3^η Ενότητα, σελ. 28), διότι τότε ο θύσανος έχει χρώμα μαύρο και επομένως μπορούμε να δούμε το σχήμα του θυσάνου.
2. Όταν τα καυσαέρια περιέχουν μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του αζώτου, που έχει χρώμα καφετί (βλέπε Ενότητα 4^η, σελ. 29), διότι τότε ο θύσανος έχει χρώμα καφέ και επομένως μπορούμε πάλι να δούμε το σχήμα του θυσάνου.

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις, που μπορούμε να δούμε το σχήμα του θυσάνου, δηλαδή του χώρου που καταλαμβάνουν τα καυσαέρια εγκαταλείποντας την καπνοδόχο (αλλά και εν γένει την πηγή τους), αναγνωρίζουμε, ότι το σχήμα του θυσάνου είναι περίπου σα χωνί που ξεκινάει από την έξοδο της καπνοδόχου.

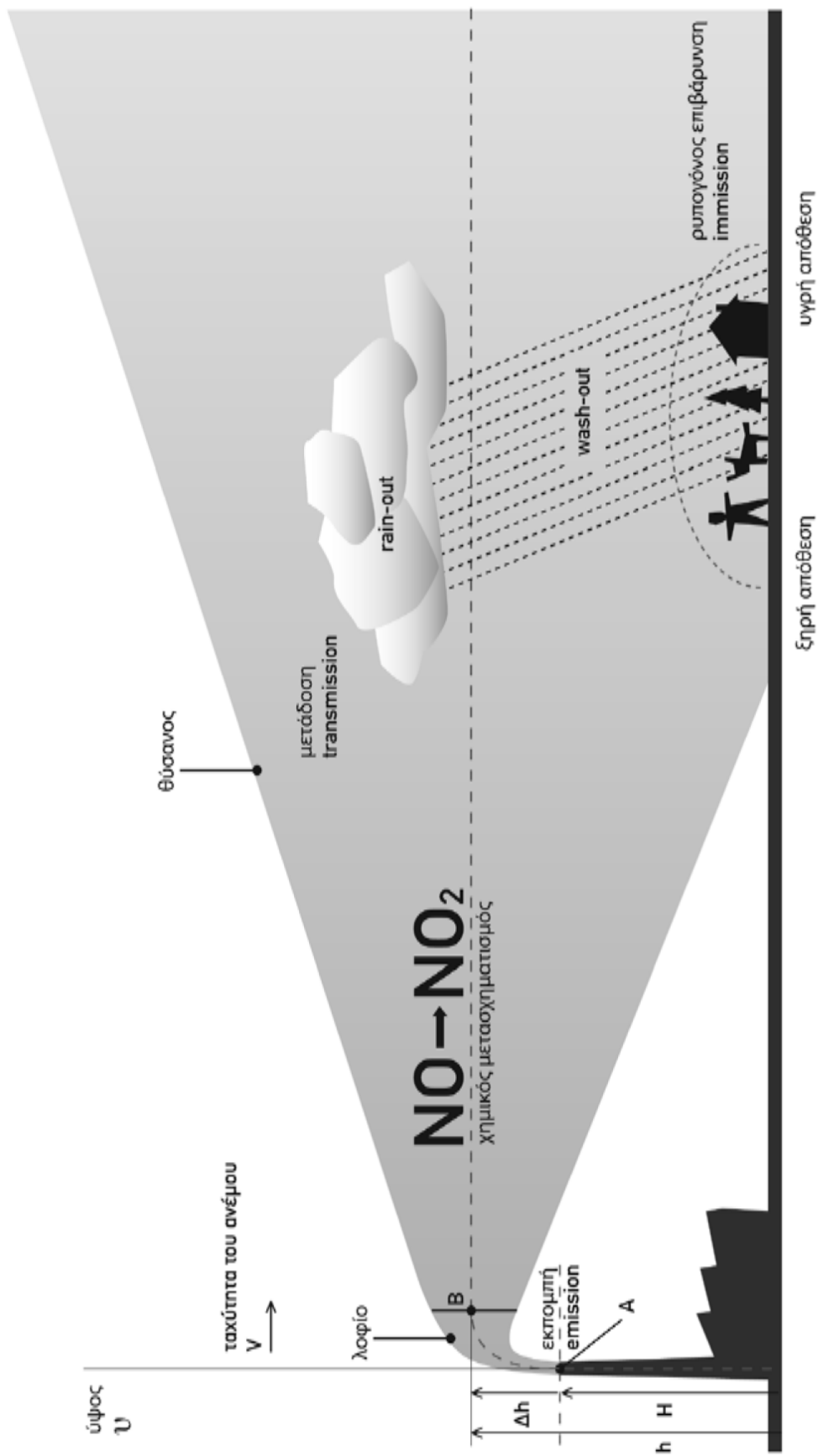
Κύριο και κοινό χαρακτηριστικό της διασποράς των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι, ότι από τη στιγμή που καταλήγουν στην ατμόσφαιρα, μεταφέρονται στην διεύθυνση, που φυσάει ο άνεμος (στο Σχήμα 3, σελ. 82 έχουμε παραδεχτεί, ότι ο άνεμος φυσάει από αριστερά προς τα δεξιά).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διασποράς των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα είναι, ότι αυτή συντελείται σε δύο φάσεις.

«Λοφίο»

Στην πρώτη φάση (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82) τα καυσαέρια εγκαταλείπουν την καπνοδόχο στο σημείο Α έχοντας κατ' αρχάς μία θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα. Όταν όμως ένα πακέτο αέρα έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από τον περιβάλλοντα αέρα είναι ελαφρύτερο από αυτόν και επομένως ανεβαίνει κατακόρυφα προς τα επάνω. Επομένως, λόγω της μεγαλύτερης θερμοκρασίας των καυσαερίων από τον περιβάλλοντα αέρα στην έξοδο από την καπνοδόχο, τα καυσαέρια ανεβαίνουν κατακόρυφα προς τα επάνω. Αυτό λέγεται **θερμική άνοση** και το ότι τα καυσαέρια ανεβαίνουν κατακόρυφα προς τα επάνω ισχύει για όλες τις περιπτώσεις, που οι ρύποι έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από τον περιβάλλοντα αέρα.

Τα καυσαέρια έχουν όμως στην έξοδο από την καπνοδόχο στο σημείο Α και μία ταχύτητα εξόδου από την καπνοδόχο. Το γεγονός, ότι η μάζα των καυσαερίων έχει μία ταχύτητα στην έξοδο από την καπνοδόχο, ονομάζεται στην Φυσική **ορμή** με



Σχήμα 3: Διοξυγόνα των Καυσαερίων στην Ατμόσφαιρα από μια Καπνοδόχο.

αποτέλεσμα τα καυσαέρια να κινηθούν στη διεύθυνση του άξονα της καπνοδόχου, δηλαδή επίσης κατακόρυφα προς τα επάνω. Το ίδιο ισχύει (βλέπε και Σχήμα 2, σελ. 82) για την περίπτωση του ηφαιστείου. Στην περίπτωση όμως ενός οχήματος τα καυσαέρια λόγω της ορμής τους κινούνται παράλληλα με την εξάτμιση, δηλαδή παράλληλα προς το δρόμο, ενώ στην περίπτωση του αεροπλάνου αντίθετα με τη διεύθυνση πτήσης του.

Μετά από ορισμένη ώρα (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82) η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει εξισωθεί με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα και η ταχύτητα, που είχαν τα καυσαέρια στην έξοδο της καπνοδόχου, έχει γίνει μηδέν. Τότε τα καυσαέρια έχουν φτάσει στο σημείο Β. Η καμπύλη ΑΒ του άξονα του θύσανου είναι συνέπεια τριών κινήσεων των καυσαερίων, δηλαδή δύο κινήσεων κατακόρυφα προς τα επάνω (θερμική άνοση και ορμή) και μίας κίνησης προς τα δεξιά (διεύθυνση ανέμου).

Η ανύψωση των καυσαερίων από το Α στο Β ονομάζεται «λοφίο». Το λοφίο είναι πολύ σημαντικό, διότι καθιστά το «ενεργό ύψος» της καπνοδόχου h μεγαλύτερο από το γεωμετρικό της ύψος H κατά το λοφίο Δh (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82). Το λοφίο είναι πράγματι πολύ σημαντικό, διότι, όπως θα αποδείξουμε στη συνέχεια, όσο πιο μεγάλο είναι το «ενεργό ύψος» της καπνοδόχου h , τόσο καλλίτερο είναι αυτό για το Περιβάλλον.

Στο σημείο Β έχει τελειώσει η πρώτη φάση της διασποράς των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Τα δε καυσαέρια από το σημείο Β και μετά κινούνται με την ίδια ταχύτητα, όπως ο άνεμος.

Διάχυση

Από το σημείο Β αρχίζει η δεύτερη φάση της διασποράς των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Η δεύτερη αυτή φάση είναι κοινή, ανεξάρτητα από την προέλευση των ρύπων, δηλαδή ανεξάρτητα από το εάν οι ρύποι προήλθαν από μία καπνοδόχο εργοστασίου, κρατήρα ηφαιστείου, εξάτμιση οχήματος, ακροφύσιο αεροπλάνου κ.λπ. Η χρονική διάρκεια της δεύτερης φάσης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την πρώτη φάση. Κατά τη δεύτερη φάση εκτός από τη δύναμη του ανέμου, που έτσι και αλλιώς δρα στους ρύπους από τη στιγμή που αυτοί φτάνουν στην ατμόσφαιρα (σημείο Α) και μεταφέρει τους ρύπους στην διεύθυνση του ανέμου, καθοριστικό για την διασπορά των ρύπων είναι το φαινόμενο της «διάχυσης».

Το φαινόμενο της διάχυσης θα το κάνουμε κατανοητό στο απλούστερο παράδειγμα της «μοριακής» διάχυσης. Έστω, ότι σε ένα δωμάτιο δεν υπάρχει ίχνος αρώματος. Στο κέντρο του δωματίου πατάμε μία φορά ένα σπρέι, από το οποίο φεύγει μία μικρή ποσότητα αρώματος. Την στιγμή που πατάμε το σπρέι η συγκέντρωση του αρώματος στη θέση του σπρέι είναι πολύ μεγάλη, ενώ η συγκέντρωση του αρώματος σε όλον τον υπόλοιπο χώρο του δωματίου είναι μηδέν. Όσο περνάει όμως ο χρόνος, μπορούμε να μυρίσουμε το άρωμα όλο και πιο μακριά από το κέντρο του δωματίου σε οποιαδήποτε διεύθυνση, έτσι ώστε μετά από λίγο χρόνο μπορούμε να μυρίσουμε το άρωμα και στο πιο μακρινό σημείο του δωματίου. Αυτό οφείλεται στη διάχυση, βάσει της οποίας με την πάροδο του χρόνου εξισώνονται οι διαφορές της συγκέντρωσης μίας ουσίας σε ένα χώρο.

Το φαινόμενο της διάχυσης είναι καθοριστικό και μέσα στο θύσανο, μόνο που μέσα στον θύσανο, δηλαδή μέσα στο κάτω μέρος της ατμόσφαιρας, δεν είναι «μοριακή», αλλά «τυρβώδης» (το τελευταίο μη Σας απασχολεί, το ανέφερα μόνο για τους πολύ προχωρημένους). Όταν λοιπόν είμαστε στο σημείο Β, η συγκέντρωση των ρύπων μέσα στο θύσανο είναι πολύ μεγάλη, ενώ στην υπόλοιπη ατμόσφαιρα (έξω από το θύσανο) είναι μηδέν ή πολύ μικρή. Φανταζόμαστε το Σχήμα 3, σελ. 82 έτσι, ώστε το έδαφος να είναι οριζόντιο. Λόγω όμως της διάχυσης, αν από το σημείο Β

κοιτάζουμε προς την διεύθυνση του ανέμου (δηλαδή από αριστερά προς τα δεξιά) οι ρύποι εξαπλώνονται προς όλες τις διευθύνσεις, δηλαδή προς τα επάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά. Όπως όμως εξηγήσαμε και στην μοριακή διάχυση, η εξάπλωση των ρύπων γίνεται με το χρόνο όλο και μεγαλύτερη. Αυτό όμως σημαίνει, ότι όσο περνάει η ώρα, ο θύσανος λαβαίνει τη μορφή ενός χωνιού, δηλαδή όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή των καυσαερίων, τα καυσαέρια καταλαμβάνουν έναν όλο και μεγαλύτερο χώρο, δηλαδή αραιώνουν τόσο και περισσότερο, δηλαδή η συγκέντρωσή τους γίνεται όλο και μικρότερη, κάτι που σημαίνει, ότι γίνονται λιγότερο επικίνδυνοι για τον άνθρωπο και τους λοιπούς αποδέκτες.

Κυρίες και Κύριοι με τα προηγούμενα προσπάθησα πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα να Σας τα εξηγήσω με πολύ απλά λόγια. Αν αυτό δεν έγινε τελείως κατανοητό, δεν πειράζει. Αυτό που έχει σημασία είναι να συγκρατήσετε οπωσδήποτε όμως το αποτέλεσμα, ότι δηλαδή **όσο τα καυσαέρια απομακρύνονται από την πηγή που προήλθαν, τόσο πιο πολύ αραιώνουν και επομένως τόσο λιγότερο βλαβερά γίνονται.**

Αυτό όμως είναι ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα, που αν το γνωρίζουμε και το εφαρμόζουμε, μπορούμε να λιγοστέψουμε τις αρνητικές επιπτώσεις που έχει η ρύπανση της ατμόσφαιρας σε εμάς. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Παράδειγμα πρώτο. Είμαστε με το αυτοκίνητο μας καθ' οδόν και εμπλεκόμαστε σε μία κυκλοφοριακή συμφόρηση, δηλαδή σε μποτιλιάρισμα. Η εξάτμιση του μπροστινού αυτοκινήτου είναι μόνο σε απόσταση κάνα δύο μέτρων μακριά μας, άρα οι ρύποι στα καυσαέρια που βγαίνουν από την εξάτμιση του μπροστινού αυτοκινήτου δεν έχουν προλάβει να αραιώσουν και επομένως είναι επικίνδυνοι. Τι κάνουμε λοιπόν; Δεν επιτρέπουμε στον εξωτερικό αέρα (όσο διαρκεί το μποτιλιάρισμα) να μπει στο εσωτερικό του αυτοκινήτου μας κλείνοντας τον αντίστοιχο διακόπτη. Είναι πιο υγιεινό να αναπνέει κάποιος για λίγο τον αέρα του εσωτερικού χώρου του αυτοκινήτου του, που είναι βεβαρυμμένος από την εκπνοή του, παρά να αναπνέει αέρα, που έρχεται από έξω και είναι βεβαρυμμένος από καυσαέρια με μεγάλη συγκέντρωση ρύπων.
- Παράδειγμα δεύτερο. Βγάζουμε το μωρό μας με το καροτσάκι του βόλτα στην πόλη που μένουμε, και συναντάμε κάποιον γνωστό με τον οποίο αρχίζουμε συζήτηση. Το χειρότερο που έχουμε να κάνουμε είναι να στεκόμαστε στο πεζοδρόμιο, διότι τότε το μωρό ευρισκόμενο δίπλα στις εξατμίσεις των αυτοκινήτων που περνούν και μάλιστα στο ύψος των εξατμίσεων, αναπνέει όλη την ώρα καυσαέρια με μεγάλη συγκέντρωση ρύπων. Τι κάνουμε λοιπόν; Μεταφέρουμε τη συζήτηση, όσο πιο μακριά γίνεται από το δρόμο, π. χ. μπαίνοντας μέσα σε ένα μαγαζί.
- Παράδειγμα τρίτο. Είμαστε με το αυτοκίνητο μας καθ' οδόν και βλέπουμε μπροστά μας ένα αυτοκίνητο ή ένα μηχανάκι, που αφήνει πίσω του ένα σύννεφο καπνού. Αυτό όμως δεν είναι φυσιολογικό, δηλαδή είναι απόδειξη, ότι η ρύθμιση της μηχανής είναι εσφαλμένη, όπου προφανώς κάποιος προσπάθησε να αντικαταστήσει τους ειδικούς των συνεργείων αυτοκινήτων ή του ΚΤΕΟ. Έτσι είναι βέβαιο, ότι στα καυσαέρια θα υπάρχουν και άλλοι ρύποι, εκτός από τον καπνό, σε μεγάλες ποσότητες. Τι κάνουμε λοιπόν; Κατ' αρχάς, όπως και στο πρώτο παράδειγμα με το μποτιλιάρισμα δεν επιτρέπουμε στον εξωτερικό αέρα να μπει στο εσωτερικό του αυτοκινήτου κλείνοντας τον αντίστοιχο διακόπτη. Κατόπιν με **προσεκτικό** οδήγημα επιδιώκουμε να βρεθούμε μακριά από το όχημα που αφήνει πίσω του το σύννεφο καπνού.

Χημικός Μετασχηματισμός

Κατά τη διασπορά των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα μέσα στο θύσανο, (δηλαδή μέσα στο χώρο που καταλαμβάνουν τα καυσαέρια) συμβαίνουν διάφορα φαινόμενα.

Ένα πρώτο φαινόμενο, που συμβαίνει μέσα στο θύσανο κατά την εξάπλωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, είναι ο χημικός μετασχηματισμός των ρύπων. Δηλαδή, οι περισσότεροι ρύποι, που περιγράψαμε μέχρι τώρα είναι χημικώς ασταθείς. Έτσι, όταν καταλήξουν στην ατμόσφαιρα (στο παράδειγμά μας με την έξοδο από την καπνοδόχο) αρχίζουν να υφίστανται «χημικό μετασχηματισμό». Αποτέλεσμα τέτοιων χημικών αντιδράσεων μπορεί να είναι, ότι άλλοι ρύποι λιγοστεύουν, άλλοι εξαφανίζονται και άλλοι αυξάνουν ή δημιουργούνται. Μερικά παραδείγματα:

- Ο ρύπος μονοξειδίου του αζώτου που βρίσκεται μέσα στον θύσανο, μετά από ένα χρονικό διάστημα μεταβάλλεται όλος σε διοξείδιο του αζώτου (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82) και επομένως εξαφανίζεται (βλέπε 4^η Ενότητα, σελ. 29).
- Ο ρύπος διοξειδίου του αζώτου που σχηματίστηκε στα καυσαέρια μέχρι την έξοδό τους από την καπνοδόχο, αυξάνει μέσα στον θύσανο κατά το ποσό που από το μονοξείδιο του αζώτου δημιουργείται διοξείδιο του αζώτου.
- Από τους ρύπους άκαυστοι υδρογονάνθρακες και διοξείδιο του αζώτου δημιουργείται υπό την επίδραση ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας ο ρύπος όζον (βλέπε 8^η Ενότητα, σελ. 68).

Ξηρή Απόθεση

Ένα δεύτερο φαινόμενο που συμβαίνει μέσα στο θύσανο κατά την εξάπλωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι η λεγομένη «ξηρή απόθεση» των ρύπων (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82). Δηλαδή κάποτε το κάτω μέρος του θυσάνου φτάνει μέχρι την επιφάνεια της γης, οπότε οι ρύποι έρχονται σε επαφή με τους ανθρώπους, τα ζώα, τα φυτά, τα οικοσυστήματα, τα κτήρια, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά κ.λπ. (όλα αυτά για συντομία τα έχουμε ήδη ονομάσει «αποδέκτες»). Από τη στιγμή λοιπόν, που το κάτω μέρος του θυσάνου φτάνει μέχρι την επιφάνεια της γης και ανάλογα με τον ρύπο αλλά και με την επιφάνεια με την οποία έρχεται ο ρύπος σε επαφή, ένα μέρος αυτού του ρύπου αποτίθεται στους αποδέκτες. Το φαινόμενο αυτό λέγεται «ξηρή απόθεση». Όταν όμως το κάτω μέρος του θυσάνου φτάσει μέχρι την επιφάνεια της γης, οι ρύποι επί πλέον μπορούν να διεισδύσουν και στον ανθρώπινο οργανισμό (κυρίως μέσω της αναπνοής αλλά και μέσω του δέρματος και των ματιών όπως ήδη έχουμε περιγράψει) με τις επιπτώσεις, που αναφέραμε στην περιγραφή των επί μέρους ρύπων.

Υγρή Απόθεση

Ένα τρίτο φαινόμενο που συμβαίνει μέσα στο θύσανο κατά την διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι η λεγομένη «υγρή απόθεση» των ρύπων (βλέπε Σχήμα 3, σελ. 82).

- Δηλαδή αν ο θύσανος, από τη στιγμή που εγκαταλείπει την καπνοδόχο, περάσει **μέσα** από ένα σύννεφο, είναι δυνατόν επί μέρους ρύποι, είτε αυτοί είναι αέρια, είτε είναι στερεά αιωρούμενα σωματίδια να αντιδράσουν μέσα στο σύννεφο. Π.χ. τα στερεά σωματίδια δρουν ως πυρήνες γύρω από τους οποίους σχηματίζονται σταγόνες με αποτέλεσμα επιμέρους ρύποι να καταλήγουν στην επιφάνεια της γης με τις σταγόνες της βροχής, τις νιφάδες του χιονιού ή τους κόκκους χαλαζιού. Έτσι ένα μέρος των ρύπων αποτίθεται σε αυτά, που για συντομία ονομάσαμε αποδέκτες δηλαδή τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά, τα οικοσυστήματα, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά κ.λπ. Το φαινόμενο αυτό λέγεται «**εκροή**» των ρύπων (στα αγγλικά rain-out και στα γερμανικά ausregnen).
- Ανεξάρτητα από αυτό το φαινόμενο, αν ο θύσανος περάσει **κάτω** από ένα σύννεφο την ώρα που πέφτει βροχή κάτω από το σύννεφο, είναι δυνατόν

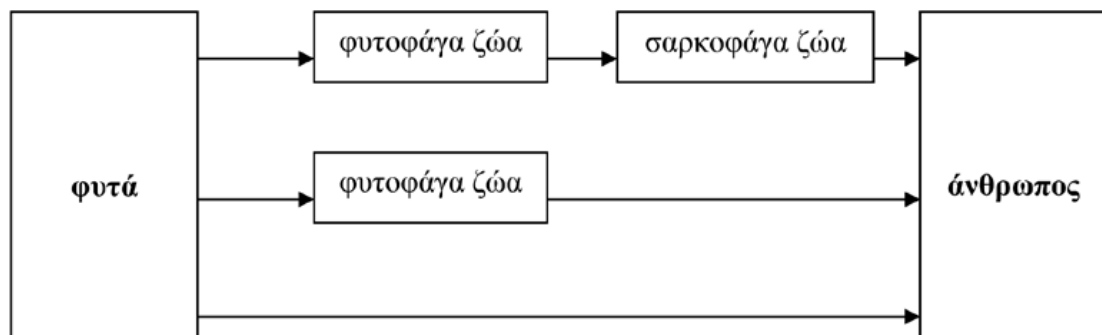
βροχή, χιόνι ή χαλάζι, που πέφτει να απορροφήσει ή να ενσωματώσει επί μέρους ρύπους (είτε αυτοί είναι αέρια είτε στερεά αιωρούμενα σωματίδια) έτσι, ώστε αυτοί να καταλήξουν με τη βροχή στους αποδέκτες. Το φαινόμενο αυτό λέγεται «έκπλυση», δηλαδή ξέπλυμα των ρύπων (στα αγγλικά wash-out και στα γερμανικά auswaschen).

- Το σύνολο των δύο φαινομένων, δηλαδή της «εκροής» των ρύπων και της «έκπλυσης» των ρύπων λέγεται «υγρή απόθεση» των ρύπων.

Επίδραση των Ρύπων της Ατμόσφαιρας στο Φυσικό Περιβάλλον

Από την περιγραφή της διασποράς των ρύπων, που κατέληξαν στην ατμόσφαιρα (ανεξάρτητα από την προέλευσή τους) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για την επίδραση των ρύπων αυτών στο κλίμα της γης, στο φυσικό Περιβάλλον, δηλαδή στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος και στους αποδέκτες, δηλαδή στον άνθρωπο, ζώα, φυτά, οικοσυστήματα, κτήρια, υλικά κ.λπ.:

1. Οι ρύποι της ατμόσφαιρας επηρεάζουν το κλίμα, όπως εξηγήσαμε αναλυτικά, όταν περιγράψαμε το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» (βλέπε 6^η Ενότητα, σελ.47 και 7^η Ενότητα, σελ. 56).
2. Πλησιάζοντας οι ρύποι στην επιφάνεια της γης μπορούν να διεισδύσουν στον οργανισμό του ανθρώπου και των ζώων κυρίως μέσω των αναπνευστικών τους οργάνων αλλά και μέσω του δέρματος και των ματιών. Στα φυτά οι ρύποι διεισδύουν μέσω των κυρίων οργάνων αναπνοής τους, δηλαδή μέσω των υπέργειων τμημάτων των φυτών και κυρίως εκείνων, που έχουν πόρους (στόματα, φυμάτια).
3. Μέσω της ξηρής και υγρής απόθεσης οι ρύποι επηρεάζουν τα κτήρια, τα υλικά, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά κ.λπ. Για την επίδραση των ρύπων στα κτήρια και στα υλικά αναφερθήκαμε στην περιγραφή της «Όξινης Βροχής» (βλέπε 8^η Ενότητα, σελ. 71). Όταν το έδαφος και τα επιφανειακά νερά είναι βεβαρημένα, τότε τα φυτά με τις ρίζες τους δεν προσλαμβάνουν μόνο τα απαραίτητα οργανικά υλικά και τα ανόργανα άλατα αλλά και τους ρύπους. Όσο πιο βεβαρημένα είναι το έδαφος και το νερό, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η πιθανότητα μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις να φτάσουν οι ρύποι μέχρι τα υπόγεια νερά ρυπαίνοντάς τα.
4. Βεβαρημένα φυτά μπορούν μέσω της τροφικής αλυσίδας να επιβαρύνουν και τον άνθρωπο (βλέπε Σχήμα 4, σελ. 86).



Σχήμα 4: Τροφική Αλυσίδα

Εκπομπή, Μετάδοση και Ρυπογόνος Επιβάρυνση των Ρύπων

Τώρα θα εισαγάγουμε τρεις σημαντικές έννοιες σχετικά με τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα (βλέπε π.χ. Σχήμα 2, σελ.79 ή Σχήμα 3, σελ.82):

1. Η μετάβαση ενός ρύπου από την καπνοδόχο (και γενικότερα από την πηγή του) στην ατμόσφαιρα λέγεται «**εκπομπή**» (στα αγγλικά και στα γερμανικά emission) του ρύπου.
2. Ό,τι συμβαίνει από τη μετάβαση ενός ρύπου από την καπνοδόχο (και γενικότερα από την πηγή του) στην ατμόσφαιρα, δηλαδή από την εκπομπή ενός ρύπου μέχρι να καταλήξει ο ρύπος στους αποδέκτες, δηλαδή στους ανθρώπους, τα ζώα, τα φυτά, τα οικοσυστήματα, τα κτήρια, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά κ.λπ. λέγεται «**μετάδοση**» (στα αγγλικά και στα γερμανικά transmission) του ρύπου.
3. Η μετάβαση ενός ρύπου από την ατμόσφαιρα στους αποδέκτες λέγεται στα αγγλικά και στα γερμανικά **immission**. Εγώ έμαθα και τις τρεις αυτές έννοιες στα γερμανικά και στα αγγλικά. Όταν άρχισα να δραστηριοποιούμαι μετά τη συνταξιοδότησή μου εκτός της Γερμανίας και στην Ελλάδα, γράφοντας Άρθρα και Βιβλία στα Ελληνικά, ασχολήθηκα με το να βρω αντίστοιχες Ελληνικές λέξεις. Για τις δύο πρώτες (emission και transmission) βρήκα σύντομα αντίστοιχες Ελληνικές. Μου έκανε όμως ιδιαίτερα αρνητική εντύπωση, ότι για την λέξη immission δεν έβρισκα αντίστοιχη Ελληνική λέξη παρά το γεγονός, ότι ρώτησα 2 αποφοίτους ανωτάτων Σχολών Μηχανικών Περιβάλλοντος, έναν βοηθό Καθηγητού Πανεπιστημίου και περισσότερους υπαλλήλους του Υπουργείου Περιβάλλοντος. Έτσι εισήγαγα εγώ μία δική μου μετάφραση: immission = ρυπογόνος επιβάρυνση. Αν κάποια ή κάποιος από Εσάς γνωρίζει την επίσημη μετάφραση της λέξης immission στα Ελληνικά, θα χαιρόμουν, αν μου το μετέφερε (στην Ιστοσελίδα μου υπάρχει και το link επικοινωνία). Έτσι, όσο δεν υπάρχει κάποια αντίδραση εκ μέρους Σας παραμένει immission = ρυπογόνος επιβάρυνση.

Οι έννοιες εκπομπή, μετάδοση και ρυπογόνος επιβάρυνση, που εισαγάγαμε για το παράδειγμα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας με καυσαέρια, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα και σε άλλες επιβαρύνσεις του Περιβάλλοντος, όπως π.χ. στην είσοδο υγρών λυμάτων σε ένα ποτάμι, μία λίμνη ή μία θάλασσα, όπως επίσης στη ρύπανση του Περιβάλλοντος από ακτινοβολίες, θερμότητα, ήχους, δονήσεις κ.λπ.

Διάρκεια «Ζωής» των Ρύπων

Αναφέραμε προηγουμένως, ότι η διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα συνεχίζεται και όταν το κάτω μέρος του θυσάνου φτάσει ήδη στο έδαφος,. Έτσι είναι λογικό το εξής ερώτημα: Πόσο μακριά φτάνουν άραγε οι ρύποι από την πηγή τους, δηλαδή από τον ρυπαντή ή και διαφορετικά πόσο μεγάλη είναι η διάρκεια «ζωής» των ρύπων στην ατμόσφαιρα;

Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα είναι εύκολη, αν έγιναν κατανοητά, τα όσα περιγράψαμε εκτενώς προηγουμένως για τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Η τελική απάντηση λοιπόν είναι, ότι οι ρύποι φτάνουν τόσο πιο μακριά από την πηγή τους, που σημαίνει το ίδιο, με το ότι η διάρκεια «ζωής» των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο δυσκολότερος είναι ο χημικός μετασχηματισμός του ρύπου και όσο δυσκολότερη είναι η ξηρή και η υγρή απόθεση των ρύπων. Ας το εξηγήσουμε όμως αυτό λίγο πιο αναλυτικά.

Όταν περιγράψαμε τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα, εξηγήσαμε, ότι μέσα στο θύσανο, δηλαδή μέσα στο χώρο που καταλαμβάνουν τα καυσαέρια κατά

την διασπορά των στην ατμόσφαιρα, τα μόνα φαινόμενα που συμβαίνουν είναι 3, δηλαδή ο χημικός μετασχηματισμός, η ξηρή απόθεση και η υγρή απόθεση.

Όταν ένας ρύπος που κατέληξε στην ατμόσφαιρα δεν υφίσταται κανένα χημικό μετασχηματισμό, είναι επόμενο, ότι ο ρύπος αυτός φτάνει πολύ μακριά από την πηγή του ή ότι έχει μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα.

Επίσης, όταν το κάτω μέρος του θυσάνου φτάσει στη γη, αλλά ένας ρύπος παρ' ότι έρχεται σε επαφή με οποιαδήποτε επιφάνεια, όπως π.χ. τον άνθρωπο, τα ζώα, τα φυτά, τα κτήρια, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά κ.λπ. δεν εναποτίθεται σε καμία από αυτές τις επιφάνειες, δηλαδή δεν υφίσταται ξηρή απόθεση, τότε είναι επόμενο, ότι ο ρύπος αυτός φτάνει πολύ μακριά από την πηγή του ή ότι έχει μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, όταν ένας ρύπος που έχει καταλήξει στην ατμόσφαιρα και περνάει είτε μέσα από ένα σύννεφο, είτε κάτω από ένα σύννεφο την ώρα που βρέχει δίχως να απορροφηθεί από τη βροχή ή να ενσωματωθεί στη βροχή, δηλαδή δίχως να υποστεί υγρή απόθεση, τότε είναι επόμενο, ότι ο ρύπος αυτός φτάνει πολύ μακριά από την πηγή του ή ότι έχει μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα.

Τώρα θα Σας αναφέρω μερικά παραδείγματα για διάρκεια ζωής ρύπων στην ατμόσφαιρα (βλέπε Πίνακα 2, σελ. 88):

Το **υδρόθειο**, που όπως έχουμε εξηγήσει προκύπτει π.χ. από την ατελή καύση του θείου, δηλαδή του θειοφίου που υπάρχει στα καύσιμα (βλέπε 4^η Ενότητα, σελ. 33), έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα ίση με 2 ώρες.

Το **διοξείδιο του θείου**, που όπως έχουμε εξηγήσει προκύπτει π.χ. από την καύση του θείου, δηλαδή του θειοφίου που υπάρχει στα καύσιμα (βλέπε 4^η Ενότητα, σελ. 32), έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα ίση με 4 ημέρες.

Ρύπος	Διάρκεια «ζωής»
Υδρόθειο H₂S (σε καθαρή ατμόσφαιρα)	2 ώρες
Διοξείδιο του θείου SO₂	4 ημέρες
Μονοξείδιο του άνθρακα CO	2,5 μήνες
Μεθάνιο CH₄	2 χρόνια
Υποξείδιο του αζώτου N₂O	150 χρόνια

Πίνακας 2: Διάρκεια «ζωής» μερικών Ρύπων

Το **μονοξειδίο του άνθρακα** που όπως έχουμε εξηγήσει προκύπτει π.χ. από την ατελή καύση του άνθρακα, που υπάρχει σχεδόν σε όλα τα καύσιμα (βλέπε 3^η Ενότητα, σελ. 26) έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα ίση με δυόμισι μήνες.

Το **μεθάνιο**, που είναι αφ' ενός συστατικό του καυσίμου φυσικό αέριο και αφ' εταίρου προϊόν της σήψης, δηλαδή του σαπίσματος της οργανικής ύλης (π.χ. φαγητά, κλαδιά κ.λπ.), το μεθάνιο λοιπόν (βλέπε 1^η Ενότητα, σελ. 9) έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα ίση με 2 χρόνια.

Το **υποξείδιο του αζώτου**, που είναι αέριο του θερμοκηπίου και δημιουργείται π.χ. κατά την υπέρμετρη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στη γεωργία (βλέπε 7^η Ενότητα, σελ. 58) έχει διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα ίση με 150 χρόνια.

Όταν η διάρκεια «ζωής» ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα είναι μερικές ημέρες, όπως π.χ. το διοξείδιο του θείου, που έχει διάρκεια ζωής 4 ημέρες, η επίδραση του στο Περιβάλλον περιορίζεται κοντά στις περιοχές προελεύσεώς του.

Όταν η διάρκεια «ζωής» ενός ρύπου είναι περισσότεροι μήνες, όπως π.χ. το μονοξειδίο του άνθρακα που έχει διάρκεια ζωής δυόμισι μήνες, τότε η επίδρασή του στο Περιβάλλον περιορίζεται σε ένα ημισφαίριο.

Όταν η διάρκεια «ζωής» ενός ρύπου είναι περισσότερα χρόνια, όπως π.χ. το υποξείδιο του αζώτου, που έχει διάρκεια ζωής 150 χρόνια, τότε ο ρύπος μεταφέρεται σε όλη την υδρόγειο. Έτσι εξηγούνται γεγονότα, όπως το ότι π.χ. στην Ανταρκτική, δηλαδή στο νότιο Πόλο εντοπίστηκαν εντομοκτόνα ή ότι π.χ. στους πάγους της Γροιλανδίας, δηλαδή κοντά στο βόρειο Πόλο εντοπίστηκε ένας ρύπος, που λέγεται τετραμεθυλομόλυβδος που υπήρχε στα καυσαέρια αυτοκινήτων πριν εισαχθεί η αμόλυβδος βενζίνη, παρ' ότι βεβαίως δεν είχαμε εκπομπή τέτοιων ρύπων ποτέ σε αυτές τις περιοχές. Δηλαδή οι ουσίες αυτές έφτασαν μέχρι αυτές τις απόμακρες περιοχές μόνο επειδή είχαν πολύ μεγάλη διάρκεια «ζωής», δηλαδή περισσότερων ετών.

Όλα όσα εξηγήσαμε μέχρι τώρα, ίσχυαν για την διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα, όταν το έδαφος είναι επίπεδο και οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι «κανονικές». Στην επόμενη 10^η Ενότητα θα Σας περιγράψω την διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα, όταν το έδαφος δεν είναι επίπεδο και όταν οι μετεωρολογικές συνθήκες δεν είναι «κανονικές» αλλά «ειδικές», δηλαδή όταν:

1. Επικρατεί «άπνοια», δηλαδή δεν φυσάει άνεμος.
2. Υπάρχει στην ατμόσφαιρα ένα στρώμα αέρα, στο οποίο επικρατεί «θερμοκρασιακή αναστροφή».
3. Συγχρόνως επικρατεί «άπνοια» και «θερμοκρασιακή Αναστροφή».

Όλα αυτά βέβαια θα τα περιγράψουμε, ως συνήθως, με απλά και κατανοητά λόγια. Κατόπιν όμως θα γίνουν αντιληπτά κάποια από τα πιο σοβαρά προβλήματα, που απασχολούν τους ανθρώπους και τα οποία συνδέονται με έννοιες, όπως χειμερινό και θερινό «Νέφος».

Πριν εγκαταλείψουμε όμως το Κεφάλαιο Διασπορά των Ρύπων στην Ατμόσφαιρα υπό κανονικές συνθήκες, θέλω να Σας αναφέρω το εξής: Όπως εξηγήσαμε, ο θύσανος, δηλαδή ο χώρος μέσα στον οποίο είναι τα καυσαέρια, έχει το σχήμα «χωνιού». Ανάλογα όμως με τις (κανονικές) μετεωρολογικές συνθήκες το «χωνί», που σχηματίζει ο θύσανος μπορεί να είναι από πολύ «ανοιχτό» μέχρι πολύ «κλειστό». Αυτό σημαίνει ότι:

1. Όταν το σχήμα που παίρνει ο θύσανος, δηλαδή το χωνί με τα καυσαέρια, είναι πολύ ανοιχτό, τότε η αραίωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μεγάλη, δηλαδή τα καυσαέρια έχουν γίνει αρκετά ακίνδυνα.
 2. Όταν το σχήμα που παίρνει ο θύσανος, δηλαδή το χωνί με τα καυσαέρια, είναι πολύ κλειστό, τότε η αραίωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρή, δηλαδή τα καυσαέρια έχουν παραμείνει αρκετά επικίνδυνα.
- Αυτά θα τα χρησιμοποιήσουμε στην επόμενη 10^η Ενότητα.