

#### 4<sup>η</sup> Ενότητα:

### **Ρύπανση της Ατμόσφαιρας. Διαδικασίες Καύσης. Ρύποι ως Παραπροϊόντα της Καύσης και από Προσμείξεις των Καυσίμων**

#### **2<sup>η</sup> Αιτία για τη Δημιουργία Ρύπων κατά την Καύση των Καυσίμων**

Όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη 3<sup>η</sup> Ενότητα, σκοπός της καύσης των καυσίμων είναι η δημιουργία θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται από την ένωση τόσο του άνθρακα όσο και του υδρογόνου (που υπάρχουν σχεδόν σε όλα τα καύσιμα) με το οξυγόνο που είναι απαραίτητο σε κάθε καύση και τη δημιουργία των δύο αερίων του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρατμού. Υπάρχουν όμως 3 αιτίες για τις οποίες (εκτός των αερίων διοξειδίου του άνθρακα και του υδρατμού, που είναι επιθυμητά, αφού έτσι δημιουργείται η θερμότητα) προκύπτουν και περισσότεροι ρύποι.

Στην προηγούμενη 3<sup>η</sup> Ενότητα περιγράψαμε εκτενώς τους ρύπους που δημιουργούνται από την 1<sup>η</sup> αιτία, δηλαδή από την ατελή καύση του καυσίμου. Οι ρύποι αυτοί είναι: Το μονοξείδιο του άνθρακα, οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες και η αιθάλη.

Στην 4<sup>η</sup> Ενότητα θα ασχοληθούμε κατ' αρχάς με τους ρύπους που οφείλονται στην 2<sup>η</sup> αιτία (δηλαδή με τους ρύπους που προκύπτουν σαν παραπροϊόντα της καύσης). Στη συνέχεια θα περιγράψουμε ένα μεγάλο μέρος των ρύπων που οφείλονται στην 3<sup>η</sup> αιτία (δηλαδή με τους ρύπους που προκύπτουν από τις διάφορες προσμείξεις που υπάρχουν στα καύσιμα).

#### **Μονοξείδιο του Αζώτου**

Η 2<sup>η</sup> αιτία δημιουργίας ρύπων κατά την καύση προέρχεται μόνο από το γεγονός, ότι ο αέρας, που είναι απαραίτητος κατά την καύση, ζεσταίνεται. Ο αέρας λοιπόν αποτελείται κυρίως από περίπου 78% άζωτο και 21% οξυγόνο κατ' όγκο. Το υπόλοιπο 1% είναι ίχνη άλλων ουσιών (με τις οποίες θα ασχοληθούμε σε άλλη Ενότητα και συγκεκριμένα, όταν θα περιγράψουμε το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου»). Όταν ο αέρας ζεσταθεί (έστω και μόνος του μέσα σε ένα δοχείο ανεξάρτητα από οποιαδήποτε καύση) στους περίπου 1100°C (βαθμούς Κελσίου), ενώνονται το άζωτο και το οξυγόνο του αέρα δημιουργώντας ένα νέο αέριο το μονοξείδιο του αζώτου. Αν λοιπόν κατά τη διάρκεια της καύσης ενός καυσίμου έχουμε θερμοκρασίες άνω των περίπου 1100°C, τότε δημιουργείται από το άζωτο και το οξυγόνο του αέρα μονοξείδιο του αζώτου. Αυτό το μονοξείδιο του αζώτου ονομάζεται «θερμικό μονοξείδιο του αζώτου», εν αντιθέσει με το «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου», το οποίο θα περιγράψουμε, όταν θα ασχοληθούμε με τους ρύπους της καύσης που οφείλονται στην 3<sup>η</sup> αιτία (βλέπε Σελ. 33). Το μονοξείδιο του αζώτου αυτό καθεαυτό δεν μπορεί να δημιουργήσει ιδιαίτερα προβλήματα στο Περιβάλλον. Κύρια αρνητική ιδιότητα του είναι ότι, αν με την αναπνοή (βλέπε Σχήμα 1, Σελ. 25) καταλήξει μέσω των πνευμόνων στο αίμα, ενώνεται πιο εύκολα απ' ότι το οξυγόνο με την αιμοσφαιρίνη του αίματος, αλλά πολύ πιο δύσκολα απ' ότι το μονοξείδιο του άνθρακα. Δηλαδή το μονοξείδιο του αζώτου έχει μία πολύ πιο ήπια συμπεριφορά από ότι το μονοξείδιο του άνθρακα (βλέπε Σελ. 26). Το πρόβλημα με το μονοξείδιο του αζώτου είναι κυρίως, ότι σταδιακά μετατρέπεται όλο σε διοξείδιο του αζώτου, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει περισσότερα προβλήματα στο Περιβάλλον.

#### **Διοξείδιο του Αζώτου**

Η μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου σε διοξείδιο του αζώτου μπορεί να αρχίσει από το τέλος της καύσης και ολοκληρώνεται μετά την πάροδο ωρών έως και

ημερών στην ατμόσφαιρα. Αν το διοξείδιο του αζώτου έχει σχηματιστεί ήδη περί το τέλος της καύσης, το αναγνωρίζουμε από το καφετί χρώμα των καυσαερίων στην έξοδο π.χ. της καπνοδόχου.

Τα προβλήματα, που μπορεί να δημιουργήσει το διοξείδιο του αζώτου στον άνθρωπο και στο Περιβάλλον είναι:

1. Ερεθισμό των ματιών και των αναπνευστικών οργάνων. Επειδή το διοξείδιο του αζώτου έχει μικρή διαλυτότητα στο νερό, φτάνει, όταν το εισπνεύσει ο άνθρωπος, μέχρι τα όργανα του κάτω αναπνευστικού συστήματος, δηλαδή τους βρόγχους και τους πνεύμονες. Εκεί διαλυόμενο στα υγρά που εκκρίνονται από τους βλεννογόνους δημιουργεί νιτρικό οξύ και έτσι προσβάλλει τα όργανα του κάτω αναπνευστικού συστήματος. Ιδιαίτερα κινδυνεύουν ασθματικοί και μικρά παιδιά. Αέριοι ρύποι όπως το διοξείδιο του αζώτου, που αντιδρώντας με νερό δημιουργούν διάφορα οξέα, πιστεύεται, ότι, διαλυόμενοι στα υγρά των βλεννογόνων τοιχωμάτων των αναπνευστικών οργάνων, διεγείρουν νευρικά κύτταρα, που προξενούν ποικίλες αντιδράσεις όπως π.χ. φτέρνισμα, βήχα, λαχάνιασμα κ.λπ.
2. Το διοξείδιο του αζώτου είναι μία από τις κύριες αιτίες της δημιουργίας της «όξινης βροχής». Γιατί άραγε; Διότι, το διοξείδιο του αζώτου στην ατμόσφαιρα ενώνεται με τους υδρατμούς που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και σχηματίζει νιτρικό οξύ, το οποίο απορροφάται από τις σταγόνες της βροχής καθιστώντας την βροχή «όξινη». Όταν η «όξινη βροχή» πέσει είτε στο έδαφος είτε στα επιφανειακά νερά δημιουργεί περισσότερα σοβαρά προβλήματα, με τα οποία θα ασχοληθούμε σε άλλη Ενότητα.
3. Το διοξείδιο του αζώτου στην ατμόσφαιρα μπορεί υπό την επίδραση ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή το καλοκαίρι να παίζει ιδιαίτερο ρόλο κατά τον σχηματισμό του «καλοκαιρινού νέφους», με ποικίλες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Το καλοκαιρινό νέφος θα το περιγράψουμε σε μία άλλη Ενότητα.
4. Το διοξείδιο του αζώτου μπορεί σε μεγάλες ποσότητες να προξενήσει «ευτροφία» του εδάφους και του νερού. Αυτό σημαίνει, ότι συσσωρεύονται στο έδαφος και στο νερό μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών (μην ξεχνάτε, ότι τα περισσότερα λιπάσματα περιέχουν και άζωτο). Οι θρεπτικές αυτές ουσίες ευνοούν μεν την ανάπτυξη ορισμένων λίγων ειδών, αλλά μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και στην εξαφάνιση πολλών άλλων ειδών.

### **3η Αιτία. Ρύποι της Καύσης από Προσμείξεις του Καυσίμου**

Τα προϊόντα της καύσης από προσμείξεις του καυσίμου συναντώνται κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπου καίγονται φτηνά καύσιμα όπως π.χ. λιγνίτης, λιθάνθρακας, πετρέλαιο κ.λπ. που έχουν διάφορες προσμείξεις,

Όπως αναφέραμε, όταν ο άνθρωπος καίει ένα καύσιμο, επιθυμεί τη δημιουργία θερμότητας, η οποία προέρχεται από την καύση των στοιχείων κυρίως άνθρακα αλλά και υδρογόνου. Τα καύσιμα όμως μπορούν να περιέχουν και άλλα στοιχεία, εκτός του άνθρακα και του υδρογόνου, όπως π.χ. θείο δηλαδή θειάφι, άζωτο κ.λπ., τα οποία, δίχως αυτό να είναι ο σκοπός της καύσης, καίγονται επίσης, δημιουργώντας καινούργιες ουσίες, που μπορούν να βλάψουν τον άνθρωπο και να επιβαρύνουν το Περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές είναι:

#### **Ενώσεις του Θείου**

Σχεδόν όλα τα καύσιμα περιέχουν, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο, ένα στοιχείο, το θείο κοινώς θειάφι. Η ποσότητα του θείου, που υπάρχει στα καύσιμα, εξαρτάται από το είδος του καυσίμου και τον τόπο προέλευσης του. Στον Πίνακα 1, σελ. 31 αναγράφεται το ποσοστό του θείου, που υπάρχει σε διάφορα καύσιμα

<b>Καύσιμο</b> (Προέλευση)	<b>Θείο (S)</b> βάρος επί τοις εκατό	<b>Τέφρα</b> βάρος επί τοις εκατό
<b>Λιγνίτης</b> Ελλάδα: Πτολεμαΐδα Μεγαλόπολη Γερμανία	0,43 1,95 1,3	16,0 14,5 6,8
<b>Λιθάνθρακας</b> Ελλάδα Γερμανία	- 1,7	- 8,8
<b>Πετρέλαιο</b> Η.Π.Α., Ρωσία, Ρουμανία Βενεζουέλα, Μεξικό, Περού Εγγύς και Μέση Ανατολή	1,0 2,0 3,75	- - -

**Πίνακας 1: Ποσοστό Θείου και Τέφρας σε στερεά και υγρά Καύσιμα**

(σε βάρος επί τοις εκατό). Οι τιμές αυτές είναι μέσοι όροι. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του θείου, που περιέχεται στα καύσιμα, το συναντάμε στα καυσαέρια στις εξής μορφές :

#### **α) Διοξειδίο του Θείου**

Όπως κατά την τέλεια καύση του άνθρακα ενός καυσίμου προκύπτει διοξειδίο του άνθρακα, έτσι και κατά την τέλεια καύση του θείου προκύπτει διοξειδίο του θείου. Το διοξειδίο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο με οξεία οσμή. Υπάρχουν δύο ρύποι το διοξειδίο του θείου και το διοξειδίο του αζώτου (βλέπε Σελ. 29), οι οποίοι διεκδικούν την «πρωτιά» τόσο εις ότι αφορά στις ποσότητες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, όσο και στις αρνητικές επιπτώσεις, που έχουν οι ρύποι αυτοί τόσο στον άνθρωπο όσο και στο Περιβάλλον. Την «πρωτιά» αυτή την κατείχε μετά τον 2<sup>ο</sup> παγκόσμιο πόλεμο και για πολλά χρόνια το διοξειδίο του θείου. Τις τελευταίες δεκαετίες την «πρωτιά» αυτή την διεκδικεί το διοξειδίο του αζώτου. Η εξήγηση αυτού θα γίνει αντιληπτή, όταν θα έχουμε ολοκληρώσει την περιγραφή των ρύπων που δημιουργούνται από την καύση των καυσίμων. Οι κυριότερες επιπτώσεις του διοξειδίου του θείου είναι:

- Λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς του στο νερό (μεγαλύτερη από την διαλυτότητα του διοξειδίου του αζώτου) διαλύεται γρήγορα στις εκκρίσεις των βλεννογόνων σχηματίζοντας το ελαφρύ θειώδες οξύ. Έτσι μπορεί να προσβάλλει τους βλεννογόνους των ματιών και των οργάνων του άνω αναπνευστικού συστήματος, δηλαδή της μύτης, του στόματος, του λάρυγγα, της τραχείας και των πρωτευόντων βρόγχων (βλέπε Σχήμα 1, Σελ. 25). Οι εξογκωμένοι βλεννογόνοι έχουν σαν συνέπεια την αύξηση της αντίστασης της ροής του αέρα που αναπνέουμε με αποτέλεσμα τη δύσπνοια. Η βλαβερή αυτή ενέργεια του διοξειδίου του θείου ενισχύεται, αν το διοξειδίο του θείου συνυπάρχει με έναν άλλο ρύπο, τα ψιλά αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία θα περιγράψουμε στη συνέχεια (βλέπε Σελ.35). Τότε το διοξειδίο του θείου με τις εκκρίσεις των βλεννογόνων και προσκολλημένο στα ψιλά αιωρούμενα σωματίδια φτάνει μέχρι τα όργανα του κάτω αναπνευστικού, δηλαδή τους τερματικούς βρόγχους και τους πνεύμονες, έχοντας όμως μεταβληθεί στο ισχυρότερο (σε σχέση με το θειώδες) θειικό οξύ προσβάλλοντας τα όργανα αυτά. Μέχρι τα όργανα του κάτω αναπνευστικού συστήματος (τερματικούς βρόγχους και πνεύμονες) μπορεί να εισχωρήσει το διοξειδίο του θείου (παρ' όλη τη μεγάλη διαλυτότητα που έχει και επομένως θα έπρεπε να έχει ήδη προσκολληθεί στα όργανα του άνω αναπνευστικού), είτε όταν υπάρχει σε μεγάλη συγκέντρωση στον αέρα, είτε μετά από βαθιά εισπνοή.
- Είναι μία από τις κύριες αιτίες της «Οξινής Βροχής». Οξίνη βροχή από διοξειδίο του θείου δημιουργείται με δύο τρόπους. Με τον ένα τρόπο το αέριο διοξειδίο του θείου αντιδρά υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με άλλα αέρια σχηματίζοντας θειικό οξύ. Με τον άλλο τρόπο το αέριο διοξειδίο του θείου οξειδώνεται απ' ευθείας στις σταγόνες της βροχής σχηματίζοντας θειικό οξύ. Όταν η «όξινη βροχή» πέσει είτε στο έδαφος είτε στα επιφανειακά νερά δημιουργεί περισσότερα σοβαρά προβλήματα, με τα οποία θα ασχοληθούμε σε άλλη Ενότητα.
- Το διοξειδίο του θείου είναι ο ρύπος, του οποίου η τοξικότητα στα φυτά έχει ερευνηθεί περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο ρύπο. Έτσι είναι γνωστό, ποια είναι η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα πάνω από την οποία δημιουργούνται προβλήματα στα διάφορα είδη φυτών. Το διοξειδίο του θείου σε μικρή συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα προκαλεί ελάττωση της

δραστηριότητας του μεταβολισμού των φυτών. Σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα φτάνει μέχρι και στην νέκρωση των φύλλων των φυτών.

### **β) Τριοξείδιο του Θείου**

Κατά τη διάρκεια της καύσης των καυσίμων ή και στα κανάλια των εγκαταστάσεων που περνούν τα καυσαέρια μέχρι να φτάσουν στην ατμόσφαιρα, μπορεί ένα μέρος του διοξειδίου του θείου να οξειδωθεί σε τριοξείδιο του θείου. Το τριοξείδιο του θείου μαζί με τον υδρατμό δημιουργεί το ισχυρό θειικό οξύ, γι' αυτό και είναι τοξικότερο του διοξειδίου του θείου. Περίπου το 1 έως 4% του διοξειδίου του θείου μεταβάλλεται σε τριοξείδιο του θείου. Στη ρύπανση της ατμόσφαιρας σπάνια έπαιξε ρόλο το τριοξείδιο του θείου. Πρέπει να είναι πολύ προβληματική η καύση ενός καυσίμου, για να έχουμε «βροχή θειικού οξέως» στο Περιβάλλον μίας καπνοδόχου. Αν ασχολούμεθα με το τριοξείδιο του θείου, αυτό έχει σχέση κυρίως με το ότι διαβρώνει τα κανάλια, από τα οποία περνούν τα καυσαέρια.

### **γ) Υδρόθειο**

Από το θειάφι που υπάρχει στα καύσιμα μπορεί να δημιουργηθεί κατά την καύση εκτός από το διοξείδιο και το τριοξείδιο του θείου και ένας άλλος ρύπος, δηλαδή το υδρόθειο. Το υδρόθειο δημιουργείται, όταν η καύση είναι ατελής, π.χ. όταν δεν υπάρχει στο θάλαμο καύσης (ή μόνο σε μία περιοχή του θαλάμου καύσης) αρκετό οξυγόνο. Οι ποσότητες του υδρόθειου που παράγονται κατά την καύση των καυσίμων σε μεγάλες θερμικές μονάδες είναι σε σύγκριση με το παραγόμενο διοξείδιο του θείου πολύ μικρές. Το χαρακτηριστικό όμως του υδρόθειου είναι η μυρωδιά του, που μοιάζει με αυτή κλούβιου αυγού. Έτσι επειδή η ενοχλητική μυρωδιά του γίνεται αντιληπτή σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα (από 0,002 χιλιοστά του γραμμαρίου υδρόθειο σε ένα κυβικό μέτρο αέρα), μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Π.χ. επειδή η βενζίνη έχει και ίχνη θείου, το υδρόθειο που δημιουργείται κατά την καύση της βενζίνης είναι η αιτία για την ενοχλητική μυρωδιά καυσαερίων από αυτοκίνητα με καταλύτη, κυρίως όταν ο καταλύτης είναι καινούργιος, ή μετά από συνεχείς επιταχύνσεις του κινητήρα. Η εκπομπή υδρόθειου στα καυσαέρια αυτοκινήτου μπορεί να περιορισθεί μειώνοντας το ήδη μικρό ποσοστό θείου που υπάρχει στη βενζίνη.

### **Ενώσεις του Αζώτου**

Τόσο το πετρέλαιο όσο και το κάρβουνο περιέχουν οργανικές ενώσεις του αζώτου. Η έννοια οργανική ένωση ενός στοιχείου, που συναντάται συχνά στα προβλήματα του Περιβάλλοντος, σημαίνει ένωση αυτού του στοιχείου με το στοιχείο άνθρακα. Κατά την καύση του καυσίμου ενώνεται το άζωτο αυτών των οργανικών ενώσεων με το οξυγόνο του αέρα, που είναι απαραίτητο για την καύση, δημιουργώντας μονοξείδιο του αζώτου.

Αυτό το μονοξείδιο του αζώτου το ονομάζουμε «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου», για να το ξεχωρίζουμε από το «θερμικό μονοξείδιο του αζώτου», που σχηματίζεται σε υψηλές θερμοκρασίες από το άζωτο και το οξυγόνο του αέρα κατά την καύση των καυσίμων σαν παραπροϊόν της καύσης (βλέπε Σελ. 29).

Έν αντιθέσει με το «θερμικό μονοξείδιο του αζώτου», το «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου» σχηματίζεται ήδη σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πλην όμως μόνο ένα μέρος του αζώτου, που υπάρχει στο καύσιμο υπό την μορφή οργανικών ενώσεων του αζώτου, μετατρέπεται σε «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου».

Καύσιμα με μεγαλύτερο ποσοστό αζώτου (υπό την μορφή οργανικών ενώσεων του αζώτου) δημιουργούν περισσότερο «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου», απ' ό,τι καύσιμα με μικρότερο ποσοστό αζώτου. Έτσι εξηγείται, γιατί το «μονοξείδιο του αζώτου του καυσίμου» είναι περισσότερο, όταν καίμε κάρβουνο, απ' ό,τι, όταν καίμε

πετρέλαιο και όταν καίμε πετρέλαιο περισσότερο, απ' ότι όταν καίμε αέριο (διότι με την ίδια σειρά μειώνεται το ποσοστό του αζώτου στο καύσιμο).

Βεβαίως και το «μονοξειδίο του αζώτου του καυσίμου» μεταβάλλεται γρήγορα (όπως το «θερμικό μονοξειδίο του αζώτου») σε διοξειδίο του αζώτου. Το άθροισμα των δύο αυτών αερίων, δηλαδή του μονοξειδίου του αζώτου και του διοξειδίου του αζώτου) ονομάζεται αθροιστικά NO<sub>x</sub>.

Το «μονοξειδίο του αζώτου του καυσίμου» μπορεί να δημιουργείται διαφορετικά απ' ότι το «θερμικό μονοξειδίο του αζώτου», δεν παύουν όμως τα δύο αυτά αέρια να είναι η ίδια χημική ένωση. Έτσι οι επιπτώσεις των δύο αυτών μονοξειδίων του αζώτου είναι ίδιες, όπως ίδιες είναι και οι επιπτώσεις των δύο διοξειδίων του αζώτου. Τις επιπτώσεις αυτές τις περιγράψαμε αναλυτικά στην αρχή της 4ης Ενότητας (βλέπε Σελ. 29).

### **Τέφρα. Στερεά Σωματίδια**

Ορισμένα καύσιμα (κυρίως τα στερεά) περιέχουν ορυκτά συστατικά (κυρίως αλουμίνιο, σίδηρο, ασβέστιο, πυρίτιο και μαγνήσιο). Αυτά τα συστατικά δεν καίγονται κατά την καύση του καυσίμου, αλλά τα συναντάμε στα προϊόντα της καύσης υπό τη μορφή της τέφρας (στάχτης).

Οι ηλικιωμένοι θα θυμούνται σίγουρα ότι, όταν καίγαμε κάρβουνο σε «μαγκάλια» ή «σόμπες», έπρεπε κάθε τόσο να απομακρύνουμε μία μεγάλη ποσότητα τέφρας. Στον Πίνακα 1, Σελ. 31 αναγράφεται και το ποσοστό της τέφρας που προέρχεται από την καύση διαφόρων καυσίμων (σε βάρος επί τοις εκατό). Έτσι αν π.χ. κάψουμε 100 κιλά λιγνίτη Γερμανίας, θα δημιουργηθούν 6,8 κιλά τέφρας. Οι τιμές του Πίνακα 1 είναι μέσοι όροι.

Το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας, που παράγεται κατά την καύση κάρβουνο στα λεβητοστάσια μεγάλης ισχύος πέφτει στο κάτω μέρος του λέβητα απ' όπου και απομακρύνεται. Ένα άλλο μέρος οδεύει προς την καπνοδόχο μέσω των ηλεκτροστατικών φίλτρων, τα οποία συγκρατούν το μεγαλύτερο μέρος της τέφρας. Τέλος, ένα μικρό μέρος εγκαταλείπει την εγκατάσταση μέσω της καπνοδόχου σαν «ιπτάμενη τέφρα» δηλαδή υπό τη μορφή στερεών σωματιδίων.

Μέχρι τώρα περιγράψαμε τους ρύπους σαν προϊόντα της καύσης των καυσίμων και αναφέραμε τις επενέργειες τους στο Περιβάλλον ανεξάρτητα από την προέλευσή τους. Και πράγματι οι επενέργειες στο Περιβάλλον π.χ. του αερίου ρύπου, διοξειδίου του θείου, είναι ανεξάρτητες από το εάν το διοξειδίο του θείου προήλθε από την καύση ενός καυσίμου ή από μία άλλη διαδικασία της χημικής βιομηχανίας ή από μία έκρηξη ηφαιστείου κ.λπ. Το ίδιο ισχύει και για όλους τους αέριους ρύπους που θα περιγράψουμε παρακάτω.

Λίγο διαφορετική είναι η περίπτωση των στερεών ρύπων, π.χ. της ιπτάμενης τέφρας, που όπως αναφέραμε αποτελείται από στερεά σωματίδια και επομένως ανήκει στην ειδική κατηγορία ρύπων των «στερεών σωματιδίων» (κοινώς σκόνης). Τα στερεά σωματίδια στην ατμόσφαιρα προέρχονται από μία μεγάλη κατηγορία ρυπαντών. Παραδείγματα είναι: Καύση καυσίμων (ιπτάμενη τέφρα και αιθάλη), τρύχιση μετάλλων και γυαλιού, επεξεργασία ξύλου, ανθρακωρυχεία, λατομεία για την εξόρυξη και επεξεργασία πέτρας, μαρμάρου κ.λπ., εργοτάξια και μεταφορά μπαζών, διακίνηση υλικών (που εκπέμπουν σκόνη), κυκλοφορία οχημάτων με αποτέλεσμα την εκπομπή στερεών σωματιδίων από τα ελαστικά, το οδόστρωμα, τα φρένα, τους συμπλέκτες κ.λπ., γεωργικές εργασίες κ.ο.κ. Υπάρχουν όμως και φυσικοί ρυπαντές στερεών σωματιδίων, όπως π.χ. ηφαιστεια, φυτά (πόλοι γύρης), διάβρωση του εδάφους υπό την επίδραση του ανέμου. Τέλος, σε μία χώρα σαν την Πατρίδα μας, με περίοδο ξηρασίας περισσότερο μηνών, είναι πολύ σημαντική η «επαναιώρηση» στερεών σωματιδίων. Με «επαναιώρηση» στερεών σωματιδίων εννοούμε την

επιστροφή στην ατμόσφαιρα σκόνης, που είχε ήδη αποθεθεί στο έδαφος. Αυτό μάλιστα μπορεί να συμβεί, είτε υπό την επίδραση του ανέμου είτε υπό την επίδραση της κυκλοφορίας οχημάτων. Πόσες φορές δεν Σας έχει συμβεί, οδηγώντας το αυτοκίνητό Σας σε ένα χωματένιο δρόμο να χάνετε την ορατότητά σας, από το σύννεφο σκόνης που σηκώνει ένα προπορευόμενο αυτοκίνητο;

Τα στερεά σωματίδια (σκόνη) γενικά τα διακρίνουμε ανάλογα με το μέγεθος τους σε δύο κατηγορίες. Ο διαχωρισμός έχει σχέση με το αν τα σωματίδια αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ή γρήγορα αποτίθενται στο έδαφος.

Τα σωματίδια μεγάλου μεγέθους (σαν μέγεθος αναφέρουμε απλοποιημένα τη διάμετρό τους) τα ονομάζουμε «αποτιθέμενα σωματίδια». Το χαρακτηριστικό αυτών των σωματιδίων είναι ότι γρήγορα αποτίθενται στο έδαφος και οπωσδήποτε δεν περνούν με την αναπνοή στον οργανισμό του ανθρώπου και των ζώων. Έτσι, τα σωματίδια αυτά αποτιθέμενα πάνω σε απλωμένα ρούχα, στα αυτοκίνητα, στα μπαλκόνια κ.λπ. το πολύ, πολύ να προκαλέσουν ενόχληση στον άνθρωπο. Στο Δίκαιο για την Προστασία του Περιβάλλοντος η έννοια «μια ουσία προκαλεί ενόχληση στον άνθρωπο» είναι πολύ μικρότερης σημασίας από την έννοια «μια ουσία είναι επικίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου».

Τα σωματίδια μικρού μεγέθους συμπεριφέρονται στην ατμόσφαιρα περίπου σαν αέριο, δηλαδή αιωρούνται. Για το λόγο αυτό τα σωματίδια μικρού μεγέθους ονομάζονται και «αιωρούμενα σωματίδια». Μετρήσεις έχουν δείξει ότι μπορούν να αιωρούνται πολλές ημέρες. Είναι φανερό, ότι ανάλογα με το μέγεθός τους μπορούν να αιωρούνται λιγότερες ή περισσότερες ημέρες. Δεν εκπλήσσει λοιπόν, ότι το μέγεθος (απλοποιημένα) της διαμέτρου των σωματιδίων, κάτω από το οποίο τα σωματίδια θεωρούνται αιωρούμενα, διαφέρει ανάλογα με τον ορισμό. Ένας συνήθης ορισμός είναι, ότι τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διάμετρο μικρότερη των 30  $\mu\text{m}$ , δηλαδή 30 μικρομέτρων. Ένα μικρόμετρο είναι, όπως έχουμε ήδη εξηγήσει (βλέπε Σελ, 26), ένα χιλιοστό του χιλιοστού του μέτρου, δηλαδή 1 χιλιοστό της απόστασης ανάμεσα σε δύο γραμμές στο υποδεκάμετρο.

Παρατηρώντας άλλη μία φορά το Σχήμα 1, σελ. 25, αντιλαμβανόμαστε, γιατί από τα «αιωρούμενα σωματίδια» έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής στις Νομοθεσίες δύο ειδικές περιπτώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων. Αυτές είναι τα  $\text{A}\Sigma_{10}$  και τα  $\text{A}\Sigma_{2,5}$ , όπου το αρκτικόλεξο Α.Σ. σημαίνει Αιωρούμενα Σωματίδια και οι αριθμοί 10 και 2,5 χαρακτηρίζουν το μέγεθος των σωματιδίων σε μικρόμετρα. Με τα  $\text{A}\Sigma_{10}$  και τα  $\text{A}\Sigma_{2,5}$  θα ασχοληθούμε πάλι, όταν θα ορίσουμε τις οριακές, δηλαδή τις επιτρεπόμενες τιμές των ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Οι αριθμοί 10 και 2,5 είναι λογική συνέπεια του Σχήματος 1. Τα αιωρούμενα σωματίδια που έχουν διάμετρο μικρότερη των 10 μικρομέτρων μπορεί γενικά να τα εισπνεύσει ο άνθρωπος, ενώ ένα μέρος των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μικρότερη των 2,5 μικρομέτρων μπορεί να εισχωρήσει μέχρι τους πνεύμονες. Τα  $\text{A}\Sigma_{10}$  ορίζονται στη Νομοθεσία ως το σύνολο των αιωρουμένων σωματιδίων, όπου το 50% της ολικής μάζας αποτελείται από σωματίδια, που έχουν διάμετρο μικρότερη ή ίση των 10  $\mu\text{m}$ . Αντίστοιχα ορίζονται τα  $\text{A}\Sigma_{2,5}$ .

Αναπνέοντας λοιπόν αέρα, που περιέχει αιωρούμενα σωματίδια, είναι δυνατόν αυτά (ανάλογα με το μέγεθος τους, βλέπε Σχήμα 1, Σελ. 25) να περάσουν από τη ρινική ή και στοματική κοιλότητα, τον φάρυγγα, τον λάρυγγα, την τραχεία, και να φτάσουν μέχρι τους βρόγχους και τους πνεύμονες. Τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να φτάσουν μέχρι τις πνευμονικές κυψελίδες, να διαπεράσουν τα τοιχώματα τους και να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος και στο λεμφικό σύστημα.

Ευτυχώς όμως το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου διαθέτει στις άνω αναπνευστικές οδούς ένα σύστημα φιλτραρίσματος του αέρα. Έτσι αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 5-10 μm προσκολλώνται στους βλεννογόνους της ρινικής ή και στοματικής κοιλότητας και μπορούν να απομακρυνθούν με απόχρεμψη ή με τις ρινικές εκκρίσεις. Βλεννογόνο διαθέτουν και οι βρόγχοι έτσι, ώστε τα μικρότερα αιωρούμενα σωματίδια, που φτάνουν εκεί, προσκολλώνται στους βλεννογόνους. Στους βρόγχους όμως υπάρχει μία διαρκής κίνηση βλέννας, που προωθεί τα προσκολλημένα σωματίδια προς τα επάνω, οπότε φτάνοντας μέχρι το φάρυγγα καταπίνονται και απομακρύνονται από τον οργανισμό μέσω του πεπτικού συστήματος.

Αν τα αιωρούμενα σωματίδια περιέχουν μόνο τα ορυκτά συστατικά, που προαναφέραμε (αλουμίνιο, σίδηρο κ.λπ.), δεν είναι υποχρεωτικό να δημιουργήσουν προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, δηλαδή στο αναπνευστικό σύστημα ή και σε άλλα όργανα μέσω της κυκλοφορίας του αίματος ή του λεμφικού συστήματος. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πολύ επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου. Μερικά παραδείγματα είναι:

- Αν τα σωματίδια περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία, που μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο. Με αυτήν την ύλη θα ασχοληθούμε σε άλλη Ενότητα.
- Αν τα σωματίδια είναι ινώδη, όπως σωματίδια αμιάντου, μπορούν να δημιουργήσουν σε αντίστοιχες συγκεντρώσεις καρκίνο κυρίως των βρόγχων, αλλά και του περιτοναίου των πλευρών και του στομάχου, καθώς και του πεπτικού συστήματος. Αυτό θα γινόταν αντιληπτό, αν είχατε την τύχη να δείτε σε ένα ειδικό μικροσκόπιο σωματίδια αμιάντου, που είναι σαν πολύ μικρά κομματάκια ενός θρυμματισμένου ξυραφιού. Τα σωματίδια αμιάντου έπαιξαν ένα σημαντικό ρόλο στις τελευταίες μεγάλες πυρκαγιές στη χώρα μας, αφού πολλές στέγες σπιτιών που κάηκαν, ήταν από ελενίτ, που περιέχει αμιάντο. Οι δε καμένες στέγες έπρεπε να απομακρυνθούν, κάτι που απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή με τα σωματίδια αμιάντου που δημιουργούνται κατά τις εργασίες αυτές.
- Αν τα σωματίδια έχουν εναποθηκεύσει πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (βλέπε Σελ. 28), π.χ. σωματίδια αιθάλης με βενζοπυρένιο μπορούν να δημιουργήσουν καρκίνο.
- Αν τα σωματίδια έχουν εναποθηκεύσει διοξίνες και φουράνια, που θα μας απασχολήσουν στην επόμενη 5<sup>η</sup> Ενότητα.
- Αν τα σωματίδια περιέχουν βαρέα μέταλλα, τα οποία θα περιγράψουμε αμέσως.
- Κλείνοντας το Κεφάλαιο τέφρα και κατ' επέκταση αιωρούμενα σωματίδια πρέπει να αναφέρουμε ότι, αν συνυπάρχουν σωματίδια και διοξειδίο του θείου (βλέπε Σελ. 32), όπως σε περίπτωση «χειμερινού νέφους», με το οποίο θα ασχοληθούμε σε άλλη Ενότητα, τότε η επίδρασή τους στο Περιβάλλον δεν είναι το άθροισμα της επίδρασης καθενός των δύο ρύπων αλλά μεγαλύτερη. Αυτό αποκαλείται «συνεργατική δράση».

### **Βαρέα Μέταλλα**

Βαρέα ονομάζονται αυτά τα μέταλλα, που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή ίση των 4,5 γραμμαρίων ανά κυβικό εκατοστό. Αυτό σημαίνει, ότι το βάρος ενός όγκου βαρέως μετάλλου είναι περισσότερο από 4,5 φορές πιο βαρύ από τον ίσο όγκο νερού. Τα βαρέα μέταλλα τα συναντάμε στην ιπτάμενη τέφρα, που προκύπτει από την καύση των καυσίμων αλλά και στα σωματίδια που προέρχονται από άλλες διαδικασίες όπως π.χ. μεταλλουργία, βιομηχανία τσιμέντου κ.α. Ευρίσκονται δε κυρίως στα σωματίδια



με πολύ μικρή διάμετρο αποκτώντας έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού έτσι μεγαλώνει η πιθανότητα να φτάσουν αναπνεόμενα μέχρι τους πνεύμονες.

Ορισμένα βαρέα μέταλλα σε μικρές ποσότητες (ίχνη) είναι απαραίτητα για τη ζωή, π.χ. σίδηρος, χαλκός, ψευδάργυρος και μαγγάνιο. Άλλα όμως δρουν τοξικά στον άνθρωπο, στα ζώα και στα φυτά όπως μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό, νικέλιο, υδράργυρος.

Ο μόλυβδος παρεμποδίζει στον άνθρωπο και στα ζώα τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης του αίματος (δηλαδή δυσκολεύει την οξυγόνωση του αίματος, βλέπε Σελ. 26, Μονοξειδίο του Άνθρακα) και έχει άμεση επίδραση στα ερυθρά αιμοσφαίρια έτσι, ώστε μεγάλες συγκεντρώσεις μολύβδου έχουν σαν συνέπεια την αναιμία. Μεγάλη επιβάρυνση με μόλυβδο δημιουργεί στα παιδιά προβλήματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Ο μόλυβδος εν αντιθέσει με άλλες τοξικές ουσίες υπαισέρχεται μέσω του πλακούντα (όργανο μέσω του οποίου τρέφεται και αναπνέει το έμβρυο) στην κυκλοφορία του αίματος του εμβρύου.

Μεγάλες συγκεντρώσεις σε κάδμιο έχουν επιπτώσεις κυρίως στα νεφρά. Σε εργαζομένους, που επαγγελματικά αντιμετωπίζουν μεγάλες συγκεντρώσεις καδμίου παρατηρήθηκαν συχνότερα καρκίνος του προστάτου, των ουρογεννητικών οργάνων και των βρόγχων.

Τρόφιμα μολυσμένα με αρσενικό έχουν οδηγήσει σε μαζικές δηλητηριάσεις μέχρι και με θανατηφόρα κατάληξη. Αρσενικό μπορεί επίσης να διαπεράσει τον πλακούντα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις να οδηγήσει σε αποβολή, παραμορφώσεις, μειωμένο βάρος τοκετού.

Η επιβάρυνση εργαζομένων σε ατμόσφαιρα που περιέχει σωματίδια νικελίου οδήγησε συχνά σε καρκίνο των πνευμόνων, της μύτης, του λάρυγγα, του στομάχου και των νεφρών. Η λήψη νικελίου με την τροφή δεν οδήγησε σε εμφάνιση καρκίνου.

Ο άνθρωπος παίρνει υδράργυρο κυρίως μέσω της τροφής του (ιδιαίτερα από ψάρια και προϊόντα ψαριών). Βρέφη, που θηλάζουν από βεβαρημένες με υδράργυρο μητέρες, παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις υδραργύρου. Συμπτώματα μίας δηλητηρίασεως από υδράργυρο είναι παραισθήσεις, μείωση της ακοής και διαταραχή του συντονισμού των κινήσεων.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με τις επιδράσεις των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο. Τώρα θα αναφερθούμε στις επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στα φυτά, τα οποία εκτός των άλλων μπορούν να επιβαρύνουν τον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Τα στερεά σωματίδια καταλήγουν (όπως προαναφέραμε) είτε από ανθρωπογενείς διαδικασίες, είτε από φυσικά φαινόμενα στην ατμόσφαιρα. Εξ αυτών τα «αποτιθέμενα σωματίδια» αποτίθενται γρήγορα, ενώ τα «αιωρούμενα σωματίδια» μετά από παρέλευση ημερών στο έδαφος. Έτσι τα φυτά δέχονται τα βαρέα μέταλλα είτε από τα αιωρούμενα σωματίδια μέσω της αναπνοής τους, είτε από τα αποτιθέμενα σωματίδια στο έδαφος μέσω της ρίζας τους. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν ανάλογα με την δόση, που δέχτηκαν τα φυτά, να δημιουργήσουν προβλήματα στα ίδια τα φυτά. Μπορούν όμως να δημιουργήσουν προβλήματα και στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας, ανάλογα με την δόση που θα πάρει ο άνθρωπος τρώγοντας αυτά τα φυτά. Η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στα φυτά εξαρτάται από το είδος των φυτών. Σημαντική όμως για την τροφική αλυσίδα είναι και η γνώση για το εάν τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται σε αυτά τα μέρη του φυτού, τα οποία προορίζονται για την κατανάλωση από τον άνθρωπο. Για παράδειγμα οι σαλάτες, το σπανάκι και τα αντίδια συσσωρεύουν στα φύλλα τους (δηλαδή σ' αυτά ακριβώς τα μέρη των φυτών που τρώει ο άνθρωπος) μεγάλες ποσότητες βαρέων μετάλλων. Αντίθετα όσπρια και δημητριακά συσσωρεύουν συγκριτικά μικρότερες ποσότητες βαρέων μετάλλων.

Ο εμπλουτισμός των φυτών με βαρέα μέταλλα συντελείται λιγότερο μέσω των μερών τους πάνω από την επιφάνεια της γης (κυρίως μέσω των φύλλων τους) απ' ότι μέσω της ρίζας τους. Αυτό εξηγείται από το ότι στην πρώτη περίπτωση το δυναμικό, από το οποίο παίρνει τα βαρέα μέταλλα το φυτό, είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, που βρέθηκαν στην περιοχή του φυτού, μόνο κατά τη διάρκεια της ζωής του. Αντίθετα το δυναμικό, από το οποίο αντλεί τα βαρέα μέταλλα το φυτό μέσω της ρίζας του, είναι τα στερεά σωματίδια, που συσσωρεύτηκαν στο έδαφος για πολλές δεκαετίες.

Κάνοντας πάντα σκέψεις με ποιο τρόπο μπορώ να μεταφέρω καλλίτερα τα του Περιβάλλοντος στις Ενδιαφερόμενες και στους Ενδιαφερόμενους έχω αποκτήσει την εξής πείρα:

1. Είναι λογικό, αφού το 90% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλονται στους ρύπους που προκύπτουν από τις διαδικασίες καύσης των καυσίμων, να περιγράψω κατ' αρχάς ό,τι έχει σχέση με όλους αυτούς τους ρύπους.
2. Οι Ενδιαφερόμενες και οι Ενδιαφερόμενοι όμως «κουράζονται» αν ασχολούνται επί μακρόν μόνο με ρύπους, όσο ενδιαφέρον και αν έχουν αυτοί.
3. Το Περιβάλλον έχει πάρα πολλά ενδιαφέροντα θέματα. Όπως όμως και στη ζωή έτσι και στο Περιβάλλον, όλα τα ενδιαφέροντα πράγματα δεν είναι το «ίδιο» ενδιαφέροντα. Έτσι, τα τελευταία χρόνια έχω εισαγάγει την εξής τακτική: Κατά την περιγραφή των διαφόρων θεμάτων του Περιβάλλοντος, σε τακτά διαστήματα, εγκαταλείπω την φυσική σειρά περιγραφής της ύλης και για να ανανεωθεί το ενδιαφέρον περιγράψω στο ενδιάμεσο, τα «απολαυστικά» θέματα του Περιβάλλοντος. Τέτοια είναι π.χ. το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου», η «Τρύπα του Οζοντος», το «Φαινόμενο Ελ-Νίνιο» κ.α. Έτσι να μεν στην επόμενη 5<sup>η</sup> Ενότητα θα ολοκληρώσω τους ρύπους που προκύπτουν από την καύση των καυσίμων, πλην όμως δε θα συνεχίσω με τη φυσική σειρά, δηλαδή να περιγράψω πώς αυτοί οι ρύποι καταλήγουν μετά την καύση στην ατμόσφαιρα, πώς μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα, τι συμβαίνει με αυτούς τους ρύπους στην ατμόσφαιρα και πώς καταλήγουν στον άνθρωπο και στους λοιπούς αποδέκτες. Αντ' αυτού θα Σας περιγράψω ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και συγχρόνως πιο σημαντικά θέματα του Περιβάλλοντος, δηλαδή το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου», που σχετίζεται άμεσα και με την κλιματική αλλαγή του πλανήτη γη. Η κλιματική αλλαγή είναι το σημαντικότερο θέμα, που θα απασχολεί την ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες.