



Οδηγός για το περιβάλλον

# Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση

Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη





# Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση

Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη

**Συγγραφέας:**

Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη,

*Επικ. Καθηγήτρια Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου*

**Γλωσσική επιμέλεια:**

Αριάδνη Χατζηναδρέου

**Γενική Επιμέλεια:**

Κωνσταντίνος Λιαρίκος, Θεοδότη Νάντσου, Ηλίας Τζηρίτης

**Εικονογράφηση:**

Μάριος Βόντας

**Σχεδιασμός-Παραγωγή:**

Σχήμα & Χρώμα, Παραγωγική Μονάδα ΚΕΘΕΑ

**ISBN:** 978-960-7506-14-6

© **Copyright:** WWF Ελλάς

Το βιβλίο έχει τυπωθεί σε χαρτί Soporset Premium Offset/100 gr πιστοποιημένο κατά FSC [Cert no. SW-COC-1783]

## Ο ΟΜΙΛΟΣ EUROBANK EFG

Ο όμιλος Eurobank EFG, σε συνεργασία με το Κοινωνοφελές Ίδρυμα Ιωάννη Σ. Λάτση, ανακοίνωσε το 2007 το πρόγραμμα «Είμαι Καθίκον μας» ([www.inekathikonmas.gr](http://www.inekathikonmas.gr)), ύψους €60.000.000, για τη στήριξη των πολιτών και των περιοχών που επλήγησαν από τις καταστροφικές πυρκαγιές του Αυγούστου 2007. Περίοπτη θέση στο πρόγραμμα κατείχε η ενίσχυση του εθελοντικού κινήματος στη χώρα μας, ως κρίσιμου πυλώνα στην προστασία του περιβάλλοντος.

Στο πλαίσιο αυτό, το τριετές πρόγραμμα του WWF Ελλάς για την έκδοση και παρουσίαση δέκα «Οδηγών για το Περιβάλλον» θα αποτελέσει, πιστεύουμε, ένα σημαντικό εργαλείο για όλους τους εθελοντές που διαθέτουν τον ελεύθερο χρόνο τους στην υπηρεσία του κοινωνικού συνόλου. Η πρωτοβουλία μας αυτή εντάσσεται, παράλληλα, στο ευρύτερο πρόγραμμα κοινωνικής προσφοράς του ομίλου Eurobank EFG, το οποίο αναπτύσσουμε με συνέπεια τα τελευταία χρόνια στους τομείς της παιδείας, του πολιτισμού, του αθλητισμού και της προστασίας του περιβάλλοντος. Με τις πρωτοβουλίες αυτές φιλοδοξούμε να συμβάλουμε, στο μέτρο των δυνατοτήτων μας, στην κοινωνική ευημερία και στη βιώσιμη ανάπτυξη.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Πρόλογος .....	9
----------------	---

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ</b> .....	11
---	----

<b>1.1</b> Ορισμοί .....	16
--------------------------	----

<b>1.2</b> Κύριες πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων .....	20
--	----

<b>1.3</b> Βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι .....	22
--	----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ</b> .....	45
---	----

<b>2.1</b> Ατμοσφαιρικές κλίμακες .....	46
---	----

<b>2.2</b> Τοπικές εκπομπές .....	49
-----------------------------------	----

<b>2.3</b> Ατμοσφαιρική διασπορά - Μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν επεισόδια ρύπανσης .....	52
--	----

<b>2.4</b> Φωτοχημικό νέφος των μεγαλουπόλεων .....	56
---	----

<b>2.5</b> Διασυννοριακή ρύπανση .....	62
--	----

<b>2.6</b> Φαινόμενα πλανητικής κλίμακας .....	66
--	----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΥΡΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	91
--	----

<b>3.1</b> Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σταθερές πηγές) .....	93
---	----

<b>3.2</b> Μέσα μεταφοράς .....	98
---------------------------------	----

<b>3.3</b> Βιομηχανία: παραγωγή ενέργειας και εκπομπές διεργασιών .....	100
--	-----

<b>3.4</b> Θέρμανση κτιρίων (σταθερές πηγές) .....	107
--	-----

<b>3.5</b> Επεισόδια εκπομπών και μεταφοράς ρύπων από πυρκαγιές .....	109
--	-----

3.6	Επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής .....	111
-----	---	-----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ Η ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....</b>	<b>115</b>
---	------------

4.1	Μέσα μεταφοράς .....	116
-----	----------------------	-----

4.2	Θέρμανση κτιρίων .....	119
-----	------------------------	-----

4.3	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανικές εκπομπές .....	120
-----	--	-----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ....</b>	<b>123</b>
---	------------

5.1	Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου .....	124
-----	--	-----

5.2	Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα .....	127
-----	------------------------------------	-----

5.3	Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον .....	130
-----	--	-----

5.4	Επιπτώσεις στη διαμόρφωση του κλίματος .....	131
-----	--	-----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΡΥΠΑΝΣΗΣ .....</b>	<b>135</b>
---	------------

6.1	Μέσα μεταφοράς .....	138
-----	----------------------	-----

6.2	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	141
-----	-------------------------------------	-----

6.3	Βιομηχανία: Παραγωγή ενέργειας και εκπομπές διεργασιών .....	147
-----	---	-----

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ .....</b>	<b>155</b>
---	------------

7.1	Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα .....	156
-----	--	-----

7.2	Εθνικό θεσμικό πλαίσιο .....	158
-----	------------------------------	-----

7.3	Αρμόδιοι φορείς.....	167
-----	----------------------	-----



<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ</b> .....	169
<b>8.1</b> Άμεσοι τρόποι μείωσης των εκπομπών .....	170
<b>8.2</b> Έμμεσοι τρόποι συμβολής στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα .....	174
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	177
Ξένη βιβλιογραφία.....	177
Ελληνική βιβλιογραφία.....	181
Πηγές Διαδικτύου .....	184



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

**Μ**έσα από τη σειρά των δέκα Οδηγών για την υποστήριξη του δύσκολου έργου της κοινωνίας των πολιτών, το WWF Ελλάς ελπίζει να συμβάλει αποφασιστικά στον κοινό αγώνα για αποτελεσματική αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης. Ο συγκεκριμένος Οδηγός που έχετε στα χέρια σας αποτελεί μέρος της υποεπάρκειας των έξι από αυτούς τους Οδηγούς, που απασχολούνται με συγκεκριμένα επιμέρους περιβαλλοντικά ζητήματα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί όχι μόνο ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα των ανεπτυγμένων χωρών, αλλά και αυτό που - μαζί με τη ρύπανση των υδάτων - έχει τις εμφανέστερες και αμεσότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Σε μεγάλο βαθμό η ατμοσφαιρική ρύπανση απαντάται σε έντονες χωρικές συγκεντρώσεις στις μεγάλες πόλεις και στις βιομηχανικές περιοχές, γεγονός που συχνά δημιουργεί την ψευδαίσθηση ότι αφορά ένα μόνο συγκεκριμένο μέρος του πληθυσμού.

Ειδικά στη χώρα μας, όπου η βιομηχανική παραγωγή είναι ιδιαίτερα περιορισμένη, η κοινή πεποίθηση φαίνεται να είναι ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αφορά μονάχα τους κατοίκους των μεγάλων πόλεων (οι οποίοι και χρεώνονται με την επιλογή του χώρου διαμονής τους) και σε ελάχιστες περιπτώσεις τους κατοίκους των περιοχών με έντονα ρυπογόνες βιομηχανίες. Η πραγματικότητα, παρόλα αυτά, διαψεύδει αυτήν την κοινή πεποίθηση: η αέρια ρύπανση από κινητές πηγές, η μικρή κλίμακας αλλά συνεχής ρύπανση από τις κατοικίες και τις επιχειρήσεις, καθώς και οι μηχανισμοί μεταφοράς των αέριων ρύπων, έχουν ως αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική ρύπανση να μας αφορά, σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό, όλους.

Όπως και σε τόσες άλλες περιπτώσεις, τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη χώρα μας είναι σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα της ελλιπούς εφαρμογής της περιβαλλοντικής νομοθεσίας,

των σχεδόν ανύπαρκτων περιβαλλοντικών ελέγχων και κυρώσεων και, φυσικά, των συχνών κακών παραγωγικών πρακτικών. Λόγω, όμως, της φύσης του ζητήματος, είναι συχνά εξίσου αποτέλεσμα της κακής προσωπικής στάσης των πολιτών σε ζητήματα που αφορούν τη διαχείριση των δικών τους εκπομπών, όπως αυτές προκύπτουν από τις κατοικίες, τις μεταφορικές συνήθειες, τη διαχείριση των επαγγελματικών μας δραστηριοτήτων κ.ο.κ.

Απέναντι σε όλα αυτά τα θέματα, ο Οδηγός αυτός προσπαθεί να υποστηρίξει τη δράση των ενεργών πολιτών περιγράφοντας τη φύση των ζητημάτων, διασαφηνίζοντας επιστημονικές έννοιες, θέτοντας προβληματισμούς ως προς τη διαχείριση των εστιασμένων προβλημάτων ρύπανσης και δίνοντας χρήσιμες κατευθύνσεις για τις δυνατότητες δράσης και παρέμβασης των πολιτών και των οργανώσεών τους.

Σας εύχομαι καλή ανάγνωση και καλή επιτυχία στην προσπάθειά σας να εφαρμόσετε με τον καλύτερο τρόπο τα όσα περιγράφονται σε αυτόν τον Οδηγό.



**Δημήτρης Καραβέλλιας**  
Διευθυντής, WWF Ελλάς

# 1

## Η έννοια της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης



**Η** ατμόσφαιρα αποτελεί το προστατευτικό στρώμα το οποίο συντηρεί τη ζωή στη γη. Είναι η πηγή του διοξειδίου του άνθρακα για τη φωτοσύνθεση, και του οξυγόνου για την αναπνοή, και προμηθεύει το άζωτο στους οργανισμούς για τη σύνθεση των δομικών τους μορίων.

Η ατμόσφαιρα είναι βασικό τμήμα του υδρολογικού κύκλου: μεταφέρει το νερό από τους ωκεανούς στα εδάφη και στους χερσαίους ταμιευτήρες νερού (π.χ. ποταμούς και λίμνες). Το νερό των ωκεανών εξατμίζεται από την επίδραση του ήλιου, συμπυκνώνεται στα σύννεφα και, τελικά, επαναποτίθεται στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα μέσω των βροχών και του χιονιού. Η ατμόσφαιρα επιτελεί τις εξής λειτουργίες:

- απορροφά το μεγαλύτερο τμήμα των κοσμικών ακτίνων και προστατεύει τους οργανισμούς από τις επιπτώσεις τους.
- απορροφά μεγάλο τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο, επιτρέποντας να φθάσουν στη γη σημαντικές ποσότητες ακτινοβολίας (μόνο στις περιοχές των 300-2.500 nm και 0,01-40 m - ραδιοκύματα).
- εμποδίζει να φθάσει στη γη η υπεριώδης ακτινοβολία, η οποία είναι καταστρεπτική για τους ζωντανούς οργανισμούς.
- επαναπορροφά μεγάλο ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης.
- με τους παραπάνω τρόπους σταθεροποιεί τη θερμοκρασία της γης.

Η ατμόσφαιρα υποδιαιρείται σε **τέσσερις στοιβάδες**: την **τροπόσφαιρα**, που είναι σε επαφή με την επιφάνεια της γης, τη **στρατόσφαιρα**, που είναι το αμέσως επόμενο στρώμα - θα τη συναντήσουμε αργότερα, όταν θα μιλήσουμε για το προστατευτικό στρώμα του όζοντος - και τα επόμενα στρώματα που είναι η **μεσόσφαιρα** και η **θερμόσφαιρα**. Τις στοιβάδες αυτές τις διακρίνουμε με βάση την κατακόρυφη κατατομή της θερμοκρασίας.

Τα καιρικά φαινόμενα, η παρουσία των υδρατμών, οι ανθρώπινες δραστηριότητες και, συνεπώς, και οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων, λαμβάνουν χώρα στην τροπόσφαιρα, το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Στη σχετική νομοθεσία<sup>1</sup>, **«ατμοσφαιρικός αέρας» είναι ο αέρας της τροπόσφαιρας στους εξωτερικούς χώρους, εξαιρουμένου του αέρα στους χώρους εργασίας** (για τους οποίους ισχύουν οι διατάξεις για την υγεία και ασφάλεια στους χώρους εργασίας και στους οποίους δεν έχει συχνά πρόσβαση το κοινό).

### *Πότε είναι ρυπασμένη η ατμόσφαιρα;*

Ατμοσφαιρικός αέρας απαλλαγμένος από ρύπους θα υπήρχε αν οι άνθρωποι και οι δραστηριότητές τους απουσίαζαν από τον πλανήτη. Πριν από αιώνες ακόμα, οι διάφορες καύσεις επιβάρυναν τον ατμοσφαιρικό αέρα με σωματίδια, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες κ.λπ. Μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, το πρόβλημα εντείνεται και φθάνουμε στις μέρες μας, οπότε είναι αισθητές οι επιπτώσεις σε πλανητικό, πλέον, επίπεδο, κυρίως από τις όξινες βροχές, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τη μείωση του στρώματος του όζοντος στη στρατόσφαιρα.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντοπίζεται στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των σύγχρονων αναγκών. Στις πόλεις, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή παραγωγής ατμοσφαιρικών ρύπων. Η κατανάλωση συμβατικών, κυρίως, ορυκτών καυσίμων αποτελεί την πηγή του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το οποίο εντείνεται κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών του 20ού αιώνα.

Δύο τύποι **αέριας ρύπανσης** κυριάρχησαν στα μεγάλα αστικά κέντρα:

1. Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη.

■ **Ο πρώτος** σχετίζεται με την καύση του κάρβουνου και άλλων καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Πόλεις με αυτόν τον τύπο αέριας ρύπανσης βρισκόνταν, συνήθως, σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η οικιακή θέρμανση με χρήση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, όπως το κάρβουνο και το μαζούτ, ήταν οι κύριες πηγές εκπομπής ρύπων. Αξίζει να σημειωθεί το πολύ γνωστό επεισόδιο του Λονδίνου, το Δεκέμβριο του 1952, που χαρακτηρίστηκε με τον όρο «χειμερινή αιθαλομίχλη». Αλλά και στις δικές μας κλιματικές συνθήκες, η φθορά των μαρμάρων του Παρθενώνα οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις θειούχων ενώσεων (οξειδίων του θείου), κύρια λόγω της χρήσης τού μαζούτ κατά τις δεκαετίες '60-'70.

■ **Ο δεύτερος** σχετίζεται με την κυκλοφορία των οχημάτων και πρωτοπαρουσιάστηκε το 1945 στο Λος Άντζελες και αργότερα και σε άλλες πόλεις, όπως η Πόλη του Μεξικού, το Τόκιο, η Ρώμη και η Αθήνα. Ο τύπος αυτός της αέριας ρύπανσης ονομάζεται «φωτοχημική αιθαλομίχλη» και, στην πραγματικότητα, είναι τα αντιδρώντα και τα προϊόντα μιας σειράς σύνθετων χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σε ατμόσφαιρα με υψηλά επίπεδα ρύπων, όπως είναι τα οξειδία του αζώτου και διάφορες οργανικές ενώσεις, κύρια υδρογονάνθρακες, με την απαραίτητη παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η σύσταση της μη ρυπασμένης ατμόσφαιρας δεν είναι δυνατόν να γίνει ποτέ σε εμάς γνωστή με ακρίβεια, για έναν ακόμη λόγο: από τη στιγμή που ο άνθρωπος απέκτησε τα μέσα προσδιορισμού της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα, ήδη ο αέρας είχε επηρεαστεί από τις δραστηριότητές του πριν από χιλιάδες χρόνια. Βέβαια, η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων και, γενικότερα, η εντατική χρήση των φυσικών πόρων, μπορούμε να πούμε ότι ξεκινά από τη Βιομηχανική Επανάσταση και μετά. Άρα, αν υπήρχαν τα σύγχρονα όργανα προσδιορισμού ατμοσφαιρικών ρύπων πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση, είναι πολύ πιθανό να έδειχναν τιμές οι οποίες δεν θα διέφεραν και πολύ από αυτές που αντιστοιχούν στο φυσικό υπόβαθρο στον ελεύθερο αέρα.



Ερευνητές ανά τον κόσμο μάς πληροφορήσαν για τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα πριν από χιλιάδες χρόνια, αξιοποιώντας πληροφορίες από τη στρωμάτωση των πάγων στις πολικές περιοχές του πλανήτη. Πράγματι, οι πάγοι της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής αποτελούν εξαιρετικά «αρχαία» πληροφοριών, τόσο για την παλαιοκλιματολογία όσο και για τις επιστήμες της ατμόσφαιρας που ασχολούνται με τη σύστασή της σε μεγάλες περιόδους του παρελθόντος. Για παράδειγμα, από την ανάλυση του αέρα που είναι εγκλωβισμένος στους πάγους, μας πληροφορήσαν για τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση.

Σήμερα, ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές στο μέσο των ωκεανών ή στους πόλους, στο μέσο της ερήμου ή στις κορυφές των ψηλότερων βουνών, η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα έχει επηρεαστεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μπορεί η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες να προσεγγίζει τη σύσταση αυτού που θα αποκαλούσαμε μη ρυπασμένη ατμόσφαιρα, δεν παύει όμως να περιέχει ίχνη ρύπων τα οποία έφθασαν, μέσω της αέριας κυκλοφορίας, σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων από τις πηγές εκπομπής.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για οποιαδήποτε οικογένεια ή κατηγορία ρύπων περιγράφεται σχηματικά ως εξής:

**εκπομπές → μεταφορά, διάχυση, μετατροπές στην ατμόσφαιρα → επιπτώσεις σε οργανισμούς, υλικά, οικοσυστήματα**

Δεν είναι εύκολο να ορίσουμε σήμερα τη μη ρυπασμένη ατμόσφαιρα, διότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, χιλιάδες χρόνια πριν. Μπορούμε μόνο να θεωρήσουμε ως σύσταση μη ρυπασμένης ατμόσφαιρας, δηλαδή «σύσταση αναφοράς», αυτή που έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές, που βρίσκονται σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων από τις πηγές εκπομπής.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία<sup>2</sup>, **ρύπος** είναι οποιαδήποτε ουσία εμφανίζεται στον αέρα και ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και/ή στο περιβάλλον στο σύνολό του. Ως ατμοσφαιρικοί ρύποι ορίζονται αέρια ή αερολύματα (*aerosols*: υγρά ή στερεά σωματίδια σε αιώρηση στον αέρα) τα οποία συναντώνται στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις που απειλούν την ομαλή διαβίωση και υγεία των οργανισμών ή παρεμποδίζουν και μεταβάλλουν την ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων.

Οι ρύποι οι οποίοι εκπέμπονται από μια πηγή απευθείας στην ατμόσφαιρα και επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα ονομάζονται **πρωτογενείς**. Παραδείγματα πρωτογενών ρύπων είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, που εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, και το διοξείδιο του θείου, από τις καύσεις των γαιανθράκων [κάρβουνο-λιγνίτης].

Όταν οι πρωτογενείς ρύποι υφίστανται στην ατμόσφαιρα μετατροπές μέσω χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων (δηλαδή με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας), προκαλείται περαιτέρω ρύπανση. Οι ρύποι που προκύπτουν από αυτές τις μετατροπές ονομάζονται **δευτερογενείς**. Παραδείγματα δευτερογενών ρύπων είναι το όζον και οξειδωμένες μορφές οργανικών ενώσεων όπως ορισμένες αλδεΐδες (ακρολεΐνη) και το Νιτρικό Υπεροξυ-Ακετύλιο (PAN). Οι δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορεί να είναι πολύ πιο επιβλαβείς για την υγεία και τα οικοσυστήματα απ' ό,τι οι πρωτογενείς.

Ορισμένα από τα αέρια ή τα σωματίδια που θεωρούνται ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας. Για παρά-

2. Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη.

δειγμα, το διοξείδιο του θείου ή το μονοξείδιο του άνθρακα είναι συστατικά της ατμόσφαιρας και γίνονται ρύποι όταν η συγκέντρωσή τους ξεπερνά ορισμένα όρια. Άλλοι ρύποι στην ατμόσφαιρα δεν είναι συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα και η παρουσία τους μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες σε οποιαδήποτε συγκέντρωση. Για παράδειγμα, οι ίνες αμιάντου είναι γνωστό ότι προκαλούν καρκίνο.

Ορισμένα αέρια μεταβλητής σύστασης, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον, που αποτελούν φυσικά συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα και/ή οφείλουν την ύπαρξή τους στον αέρα, κύρια σε φυσικές διεργασίες, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και συνδέονται άμεσα με συνέπειες των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε πλανητική κλίμακα.

Σημαντικό μέρος του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει σήμερα στον αέρα εκπέμπεται από τις καύσεις των ορυκτών καυσίμων. Δεν θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος, διότι δεν έχει άμεσες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Είναι, όμως, το κυριότερο αέριο το οποίο συμμετέχει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και, άρα, επηρεάζει τις μεταβολές του κλίματος του πλανήτη. Ξέρουμε, επίσης, ότι το όζον στη στρατόσφαιρα μας προστατεύει από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες. Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όμως, το όζον αποτελεί δευτερογενώς παραγόμενο ατμοσφαιρικό ρύπο, ο οποίος σχηματίζεται μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων, όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχουν οξειδία του αζώτου και υδρογονάνθρακες. Το όζον είναι τοξικό αέριο, καταστρέφει τα φυτά και τις καλλιέργειες και η παρουσία του στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στην ταχεία φθορά των υλικών.

Από τα παραπάνω μπορεί κανείς να καταλάβει ότι ο ορισμός του ατμοσφαιρικού ρύπου αλλά και της ρυπασμένης ή μη ατμόσφαιρας εξαρτάται, επίσης, από το χρονικό πλαίσιο, το θεωρούμενο χώρο και τις επιπτώσεις που αντιστοιχούν σε μία συγκεκριμένη κατάσταση.

Για τη διευκόλυνση της κατανόησης των επόμενων κεφαλαίων θα πρέπει να δώσουμε στο σημείο αυτό μερικούς απαραίτητους ορισμούς που αφορούν την ορολογία που είναι άμεσα συνδεδεμένη

με τα θέματα της ποιότητας του αέρα και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ορισμοί αυτοί είναι διεθνώς αποδεκτοί και έγκυροι και εμφανίζονται με τον ίδιο τρόπο και στη σχετική νομοθεσία.

**Συγκέντρωση** ενός ρύπου με βάση τη μάζα: εκφράζεται ως μικρογραμμάρια ( $\mu\text{g}$ : 1 εκατομμυριοστό του γραμμαρίου, δηλαδή  $10^{-6} \text{ g}$ ) ανά κυβικό μέτρο αέρα:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Συγκέντρωση ενός ρύπου σε ογκομετρική βάση: εκφράζεται ως «μέρη ανά εκατομμύριο» parts per million: ppm<sup>3</sup>.

**Επίπεδο:** η συγκέντρωση (ποσότητα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα) ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεσή του σε μια επιφάνεια σε δεδομένη χρονική στιγμή.

**Οριακή τιμή:** επίπεδο καθοριζόμενο βάσει επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας, χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις.

**Κρίσιμο επίπεδο:** επίπεδο καθοριζόμενο βάσει επιστημονικών γνώσεων, η υπέρβαση του οποίου ενδέχεται να συνεπάγεται άμεσες αρνητικές επιπτώσεις για ορισμένους υποδοχείς, όπως τα δένδρα, άλλα φυτά ή τα φυσικά οικοσυστήματα, όχι όμως και για τον άνθρωπο.

**Όριο συναγερμού:** το επίπεδο πέραν του οποίου υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία του πληθυσμού εν γένει, ύστερα από σύντομη έκθεση, και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν άμεσα μέτρα.

**Όριο ενημέρωσης:** το επίπεδο πέραν του οποίου η βραχύχρονη έκθεση εγκυμονεί, για ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η άμεση και κατάλληλη πληροφόρηση.

**Ανώτερο όριο εκτίμησης:** το επίπεδο κάτω από το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται συνδυασμός σταθερών μετρήσεων και τεχνικών προσομοίωσης και/ή ενδεικτικών μετρήσεων για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

**Κατώτερο όριο εκτίμησης:** το επίπεδο κάτω από το οποίο μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο τεχνικές προσομοίωσης ή αντικειμενικής εκτίμησης για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

**Τιμή στόχος:** επίπεδο καθοριζόμενο με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, που επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν εντός δεδομένης χρονικής περιόδου.

**Ζώνη:** τμήμα του εδάφους που οριοθετείται από το κράτος για λόγους εκτίμησης και διαχείρισης της ποιότητας του αέρα.

**Οικισμός:** ζώνη αστικού χαρακτήρα της οποίας ο πληθυσμός υπερβαίνει τους 250.000 κατοίκους ή όταν ο πληθυσμός είναι μικρότερος ή ίσος των 250.000 κατοίκων, με συγκεκριμένη πληθυσμιακή πυκνότητα ανά  $\text{km}^2$ , που καθορίζεται από το κράτος (τα κράτη μέλη).

# 1.2

## ΚΥΡΙΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

---

Ως πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων θεωρούνται διάφορες τοποθεσίες, δραστηριότητες ή παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές εκπομπής μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Τις **ανθρωπογενείς πηγές** και τις **φυσικές πηγές**.

### **Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων**

Οι ανθρωπογενείς πηγές διακρίνονται σε **σταθερές** και **κιντές** πηγές και συνδέονται κύρια με την καύση διαφόρων ειδών καυσίμων.

- Οι **σταθερές πηγές** περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία (παραγωγή ενέργειας και εκπομπές διεργασιών) και τη θέρμανση κτιρίων.
- Οι **κιντές πηγές** περιλαμβάνουν τα τροχοφόρα, καθώς και την κίνηση πλοίων και αεροπλάνων.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ποσοτική συνεισφορά της κάθε δραστηριότητας στις συνολικές εκπομπές ρύπων. Η σχετική συνεισφορά κάθε δραστηριότητας μεταβάλλεται στο χώρο και στο χρόνο, ανάλογα με τις ανάγκες και τον τρόπο ζωής.

Άλλες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων είναι τοπικές εκπομπές από γεωργικές καύσεις και απόθεση σκουπιδιών σε χωματερές. Στις χωματερές παράγεται και εκπέμπεται μεθάνιο. Το μεθάνιο δεν είναι ατμοσφαιρικός ρύπος, αλλά ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου. Επιπλέον, είναι εύφλεκτο και μπορεί να παράγει εκρηκτικά μίγματα με τον αέρα.

### **Φυσικές πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων**

Αν και μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στην επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα, οι εκπομπές αυτές δεν μπορούν να ελεγχθούν άμεσα από τον άνθρωπο. Αξίζει να αναφερθούν τρεις τέτοιες κύριες κατηγορίες πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων.

**Εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών.** Συνήθως τέτοιες πηγές γίνονται σημαντικές όταν έχουμε μεγάλες εκτάσεις με φτωχή ή καθόλου βλάστηση. Η ατμόσφαιρα της Μεσογείου, αλλά και η χώρα μας, επηρεάζονται σημαντικότερα από επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής και τη Σαχάρα.

**Οι ηφαιστειακές εκρήξεις** εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες από θειικά αερολύματα και τέφρες. Οι εκπομπές αυτές γίνονται όχι μόνο στην τροπόσφαιρα, αλλά και σε πολύ μεγαλύτερα ύψη από την επιφάνεια της γης. Για το λόγο αυτόν, τα ηφαιστειακά αερολύματα, τα οποία εκπέμπονται σε τεράστιες ποσότητες, έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα και διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τα αερολύματα που προκύπτουν επιδρούν στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας με τρόπο αντίθετο από αυτόν των αερίων του θερμοκηπίου, διότι προκαλούν ψύξη του αέρα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα αιωρούμενα σωματίδια σκεδάζουν και απορροφούν το ηλιακό φως και επηρεάζουν τον τρόπο γένεσης των νεφών.

**Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων, όπως μονοξειδίου του άνθρακα, από τις δασικές πυρκαγιές.** Οι δασικές πυρκαγιές που εκδηλώνονται συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες, διότι ευνοούνται από τις μεγάλες περιόδους ζέσης και παρατεταμένης ανομβρίας στις χώρες της Μεσογείου, επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με τεράστιες ποσότητες σωματιδίων και αερίων.

# 1.3

## ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

**Βασικοί ρύποι (priority pollutants)** λέγονται εκείνοι για τους οποίους τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις ΗΠΑ όσο και σε άλλα κράτη:

- έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται πρότυπες μέθοδοι δειγματοληψίας και προσδιορισμού των συγκεντρώσεών τους με εξειδικευμένα μηχανήματα, τόσο στα σημεία των εκπομπών από τις πηγές όσο και στον αέρα.
- έχουν θεσπιστεί και ισχύουν όρια εκπομπών από τις πηγές όσο και όρια στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- λειτουργούν εθνικά δίκτυα παρακολούθησής τους, κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Στους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους ανήκουν:

- Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )
- Το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου: μονοξείδιο ( $\text{NO}$ ) και διοξείδιο ( $\text{NO}_2$ )
- Το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ )
- Ο μόλυβδος ( $\text{Pb}$ ), λόγω της τοξικότητάς του
- Τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10  $\mu\text{m}$ , διότι αυτά εισπνέονται. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες: τα  $\text{AS}_{10}$  και τα  $\text{AS}_{2,5}$
- Το βενζόλιο, λόγω της επικινδυνότητάς του (καρκινογόνο). Ανήκει και στην κατηγορία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ).

Επιπλέον των παραπάνω κατηγοριών, σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του αέρα παίζουν και άλλα δύο είδη ρύπων:

- Το όζον  $\text{O}_3$  που, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους, αποτελεί τον σημαντικότερο σε αφθονία δευτερογενή ατμοσφαιρικό ρύπο που παράγεται από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα οξείδια του αζώτου και έχει άμεση σχέση με την ταυτόχρονη παρουσία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ) στον αέρα. Η εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς το όζον αντιμετωπίζεται με ειδικές διατάξεις στη σχετική νομοθεσία, και



οι συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα παρακολουθούνται στα εθνικά αστικά δίκτυα ταυτόχρονα με αυτές των άλλων ρύπων.

- **Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)** - Volatile Organic Compounds (VOC). Είναι οργανικές ενώσεις με επαρκή πτητικότητα, ώστε να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα στην αέρια φάση.

Όπως ήδη διαφαίνεται και θα γίνει καλύτερα κατανοητό στη συνέχεια, ορισμένοι από τους βασικούς ρύπους αποτελούν οικογένειες ρύπων και όχι έναν μεμονωμένο ρύπο με καθορισμένη χημική σύσταση. Για παράδειγμα, η σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία από συστατικά, στοιχειακό και οργανικό άνθρακα, μέταλλα κ.λπ. Στις Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ) περιλαμβάνεται μία ομάδα από 100 περίπου διαφορετικές οργανικές ενώσεις διαφορετικής επικινδυνότητας για την υγεία και δραστικότητας στη χημεία της ατμόσφαιρας.

## ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

### Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

#### ■ Πηγές

Το διοξείδιο του θείου, αέριο άχρωμο και ευδιάλυτο στο νερό, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο. Οι εκπομπές αυτές οφείλονται σε καύσεις που γίνονται από μη κινητές πηγές, δηλαδή βιομηχανικές μονάδες. Ένα πολύ μικρό ποσοστό των εκπομπών διοξειδίου του θείου οφείλεται, πλέον, στα διάφορα οχήματα. Το μεγαλύτερο ποσοστό εκπέμπεται από **μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**, ενώ σημαντικά ποσοστά εκπέμπονται από τα **διυλιστήρια** και την **τσιμεντοβιομηχανία**. Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις σε αστικά κέντρα είναι της τάξης των 100 μg/m<sup>3</sup>, με οριακές τιμές τα 350 μg/m<sup>3</sup> (μέση ωριαία τιμή που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος) και τα 125 μg/m<sup>3</sup> (μέση ημερήσια τιμή η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από τρεις φορές σε ένα ημερολογιακό έτος).

Το πετρέλαιο και οι γαιάνθρακες περιέχουν σημαντικά ποσοστά θείου (0,5-6,0% κατά βάρος), το οποίο υπάρχει δεσμευμένο σε ανόργανες θειούχες ενώσεις, καθώς και ως οργανικό θείο. Κατά την καύση των καυσίμων, το θείο εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κυρίως ως διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ). Μικρές ποσότητες εκπέμπονται, επίσης, και ως τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ).

Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα και είναι η κύρια αιτία του σχηματισμού της όξινης βροχής, καθώς και των θειικών ιόντων που περιέχονται στα αιωρούμενα σωματίδια. Όταν το ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι χαμηλό και δεν υπάρχουν νέφη, τότε το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται στην αέρια φάση. Αντίθετα, όταν το ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι μεγάλο και υπάρχουν νέφη, τότε η οξείδωση του διοξειδίου του θείου πραγματοποιείται στην υγρή φάση, επειδή παρουσιάζει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό. Η οξείδωση του διαλυμένου στα σταγονίδια διοξειδίου του θείου προς θειικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) μπορεί να γίνει από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ) αλλά και από άλλα οξειδωτικά μέσα που υπάρχουν στον αέρα, όπως π.χ. το όζον ( $\text{O}_3$ ).

## ■ Επιπτώσεις

---

Τα θειικά αερολύματα θεωρούνται επιβλαβή για την υγεία των ανθρώπων. Στην εισπνεόμενη σωματιδιακή ύλη, όταν υπάρχουν θειικά ιόντα, αυτά παίζουν συνεργιστικό ρόλο σε όλο το φάσμα των επιπτώσεων. Αυτό σημαίνει ότι η εισπνοή θειικών αερολυμάτων επιδεινώνει τα συμπτώματα και τις συνέπειες σε σχέση με αυτές που θα είχαμε από την εισπνοή π.χ. ανόργανης σκόνης απαηλλαγμένης από θειικά.

Τα θειικά αερολύματα στην ατμόσφαιρα μειώνουν την ορατότητα επειδή το μέγεθός τους είναι συγκρίσιμο με τα μήκη κύματος του ορατού φωτός.

Το διοξείδιο του θείου αποδεικνύεται καταστρεπτικό για πολλούς φυτικούς οργανισμούς.

Το κύριο χαρακτηριστικό της διάλυσης του διοξειδίου του θείου στα σταγονίδια του νερού στην ατμόσφαιρα και της οξείδωσής του

είναι η δημιουργία θειικού οξέος, το οποίο είναι ισχυρό οξύ. Αυτή η παραγωγή οξύτητας είναι η κύρια αιτία δημιουργίας της όξινης βροχής. Παράλληλα με την παρουσία θειικών ιόντων στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιόνι), υπάρχουν και νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) που προέρχονται από τα οξειδία του αζώτου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα και συνεισφέρουν και αυτά στη δημιουργία της όξινης βροχής.

Η **όξινη βροχή** θεωρείται ένα από τα σοβαρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκόσμιας εμβέλειας. Συνοπτικά, οι κυριότερες **επιπτώσεις** της όξινης βροχής είναι:

- Αύξηση της διαλυτότητας και της κινητικότητας μετάλλων λόγω αύξησης της οξύτητας των εδαφών και των επιφανειακών νερών. Μετάλλα όπως το αργίλιο, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το κάδμιο γίνονται ευδιάλυτα και, γι' αυτό, βιοπροσλήψιμα, και είναι τοξικά για τους ζώντες οργανισμούς.
- Επιπτώσεις από τη διαλυτοποίηση τέτοιων μετάλλων σε ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς.
- Διαλυτοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) των μαρμάρων λόγω μετατροπής του σε θειικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ), το οποίο είναι πολύ διαλυτό στο νερό. Το αποτέλεσμα είναι η σύντομη φθορά των μαρμάρων στα κτίρια και ιδιαίτερα στα αρχαία μνημεία. Η αλλοίωση και εξαφάνιση λεπτομερειών στα μνημεία και στα έργα τέχνης που εκτίθενται σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα παρατηρήθηκε και στη χώρα μας στα μάρμαρα του Παρθενώνα. Αυτή οφείλεται στη μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου σε θειικό, λόγω των θειικών αερολυμάτων της ατμόσφαιρας και των θειικών ιόντων των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.
- Τα θειικά αερολύματα επιταχύνουν τη φθορά των επιχρισμάτων (τα αποχρωματίζουν), διαβρώνουν τις μεταλλικές επιφάνειες και προκαλούν πρόωμη γήρανση στις οργανικές ίνες. Επομένως, τα θειικά αερολύματα συμβάλλουν σημαντικά στην πρόωμη γήρανση και φθορά των υλικών του δομημένου περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανάγκης συχνής συντήρησης, με συνέπεια την αντίστοιχη οικονομική επιβάρυνση.

### ■ Πηγές

Τα οξειδία του αζώτου που απαντώνται σε ίχνη στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι επτά: NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Τα οξειδία που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ατμοσφαιρική ρύπανση και ιδιαίτερα τη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

Η κυριότερη πηγή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι η **καύση των ορυκτών καυσίμων**. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι σχηματισμού οξειδίων του αζώτου από την καύση των ορυκτών καυσίμων:

**1.** Ο θερμικός σχηματισμός, κατά τον οποίο τα οξειδία του αζώτου σχηματίζονται από το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα της καύσης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (πάνω από 1.000°K περίπου). Οξειδία του αζώτου μπορούν να σχηματιστούν θερμικά και από άλλη πηγή εκτός της καύσης των ορυκτών καυσίμων, η οποία να έχει ως χαρακτηριστικό τη θέρμανση ατμοσφαιρικού αέρα σε υψηλή θερμοκρασία.

**2.** Ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου από την οξείδωση συστατικών των καυσίμων. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει τα καύσιμα να περιέχουν αζωτούχες ενώσεις. Τα ορυκτά καύσιμα περιέχουν αζωτούχες ενώσεις σε ποσοστά που εξαρτώνται από το είδος τους, αλλά και από την προέλευσή τους. Το φυσικό αέριο και τα ελαφρά κλάσματα του πετρελαίου δεν περιέχουν καθόλου αζωτούχες ενώσεις, ενώ ορισμένοι γαιάνθρακες και βαριά κλάσματα του πετρελαίου μπορεί να περιέχουν αζωτούχες ενώσεις σε ποσοστό μέχρι 3% κατά βάρος.

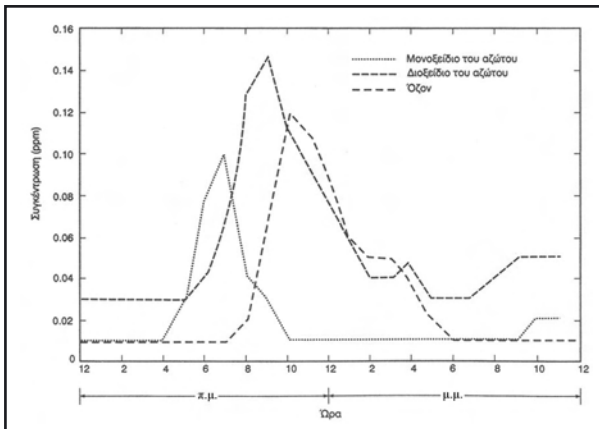
Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου σε αστικές περιοχές κυμαίνονται μεταξύ 20-90 μg/m<sup>3</sup>. Οι οριακές τιμές είναι 200 μg/m<sup>3</sup> (μέση ωριαία που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές ανά ημερολογιακό έτος) και μέση τιμή ανά ημερολογιακό έτος τα 40 μg/m<sup>3</sup>.

Στην ατμόσφαιρα εκπέμπεται αρχικά μονοξείδιο του αζώτου, το οποίο μετατρέπεται σχετικά γρήγορα σε διοξείδιο. Το διοξείδιο του αζώτου είναι από τα σημαντικότερα μόρια ως προς το ρόλο που διαδραματίζει στην ατμοσφαιρική χημεία. Αλληλεπιδρά με την ηλιακή ακτινοβολία, και σε μήκη κύματος μικρότερα των 398 nm φωτοδιίσταται. Από τη φωτοδιάσπαση αυτή παράγεται μονοξείδιο του αζώτου και ατομικό οξυγόνο. Το ατομικό οξυγόνο που παράγεται αντιδρά με μοριακό οξυγόνο, με αποτέλεσμα το σχηματισμό όζοντος.

Το **όζον** που σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από τη φωτολυτική διάσπαση του διοξειδίου του αζώτου αποτελεί τον σημαντικότερο δευτερογενή ατμοσφαιρικό ρύπο.

Η ημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}$ ), διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) και όζοντος φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Νωρίς το πρωί, όταν αρχίζει η κυκλοφορία των οχημάτων, έχουμε αύξηση των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}$ ). Γρήγορα, όμως, οι συγκεντρώσεις του μειώνονται, διότι μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ). Καθώς η ένταση

### Ημερήσια μεταβολή μονοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του αζώτου και όζοντος κατά την εξέλιξη του φωτοχημικού νέφους



(Πηγή: Masters G. M., Wendell P., 2007. Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice Hall, 3rd edition)

της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται προς το μεσημέρι, αυξάνεται ο ρυθμός της φωτοηλεκτρικής διάσπασης του διοξειδίου του αζώτου και γι' αυτό έχουμε μείωση των συγκεντρώσεών του, με ταυτόχρονη αύξηση των συγκεντρώσεων του όζοντος. Το όζον είναι τόσο ισχυρό οξειδωτικό, ώστε κατά τη διάρκεια της παρουσίας του στην ατμόσφαιρα, τις απογευματινές ώρες, δεν παρατηρείται περαιτέρω αύξηση των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου.

Επιπλέον, στην ατμόσφαιρα διαπιστώνεται η εμφάνιση και άλλων ενώσεων και, ειδικότερα, οξειδωμένων μορφών ακόρεστων υδρογονανθράκων. Όταν επικρατεί ηλιοφάνεια και υπάρχουν εκπομπές οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα, τόσο οι πραγματικές αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος όσο και οι συγκεντρώσεις οξειδωμένων υδρογονανθράκων (δευτερογενών ρύπων) ερμηνεύονται από έναν πολύπλοκο κύκλο φωτοχημικών αντιδράσεων. Η πλειοψηφία των δευτερογενών ρύπων που παράγονται κατά τους κύκλους των αντιδράσεων που χαρακτηρίζουν το φωτοχημικό νέφος είναι επιβλαβείς για τη δημόσια υγεία.

## ■ Επιπτώσεις

---

Το μονοξείδιο του αζώτου, αν και μπορεί να συνδεθεί με την αιμογλοβίνη του αίματος, επειδή στην ατμόσφαιρα συναντάται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτές του μονοξειδίου του άνθρακα, δεν προκαλεί προβλήματα στην υγεία.

Το διοξείδιο του αζώτου είναι υπεύθυνο για ερεθισμούς του αναπνευστικού συστήματος. Όταν στην ατμόσφαιρα οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου είναι αυξημένες και η ένταση του ηλιακού φωτός επαρκεί για το σχηματισμό φωτοχημικού νέφους, **τα συμπτώματα και οι επιπτώσεις στην υγεία** προέρχονται, κυρίως, από τους δευτερογενείς ρυπαντές:

- το όζον, το οποίο είναι ο φωτοχημικός ρύπος που απαντάται σε μεγαλύτερη αφθονία κατά την εκδήλωση του φαινομένου. Το όζον είναι ισχυρό οξειδωτικό. Οι εμφανέστερες επιπτώσεις του ατμοσφαιρικού όζοντος αφορούν τις καλλιέργειες και, γενικότερα, τα φυτικά είδη. Το όζον προσβάλλει τους ιστούς τους και προ-

καλεί γρήγορη γήρανση και, γενικά, μειώνει την αντοχή των φυτικών ειδών, προκαλώντας ακόμα και ολοσχερή καταστροφή τους. Για τους λόγους αυτούς, η εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς το όζον αντιμετωπίζεται με ειδικές διατάξεις στη σχετική νομοθεσία και, συνήθως, στα μεγάλα αστικά κέντρα, στα δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, οι τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος καταγράφονται παράλληλα με αυτές των οξειδίων του αζώτου.

- τους άλλους φωτοχημικούς ρύπους, όπως είναι η ακρολεΐνη, η φορμαλδεΐδη, το νιτρικό υπεροξυακετύλιο και το νιτρικό υπεροξυβενζοΐλιο, τα οποία είναι υπεύθυνα για τους ερεθισμούς των βλεννογόνων των ματιών και του αναπνευστικού κατά την εκδήλωση του φωτοχημικού νέφους. Οι ρυπαντές αυτοί προκαλούν συμπτώματα δυσφορίας και ενέχονται για τα παρατηρούμενα ποσοστά καρκινογένεσεων στους πληθυσμούς των πόλεων<sup>4</sup>.

Τα οξείδια του αζώτου και οι άλλοι φωτοχημικοί ρύποι έχουν σημαντικές επιπτώσεις στους φυτικούς οργανισμούς και ιδιαίτερα στις αγροτικές καλλιέργειες σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα. Η έκθεση των πράσινων μερών των φυτών σε τεχνητή ατμόσφαιρα μεγάλων συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου προκαλεί στίγματα στα φύλλα και γήρανση των φυτικών ιστών. Η έκθεση σε 10 ppm μονοξειδίου του αζώτου προκαλεί, επίσης, επιβράδυνση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης.

Τα οξείδια του αζώτου προκαλούν γρηγορότερη φθορά και γήρανση στα υλικά του δομημένου περιβάλλοντος, όπως αποχρωματισμό στα επιχρίσματα και διάβρωση στις μεταλλικές επιφάνειες. Τέλος, επειδή η τελική τύχη των οξειδίων του αζώτου είναι η μετατροπή τους σε νιτρικά αερολύματα και νιτρικό οξύ που αποχωρίζεται από την ατμόσφαιρα μέσω των κατακρημνίσεων, τα οξείδια του αζώτου συνεισφέρουν στη δημιουργία της όξινης βροχής.

4. <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>, James E. Ph. D., 2004. *Principles of Environmental Chemistry*, Girard, Jones & Bartlett Publishers, 1st edition.

## Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)

### ■ Πηγές

Το μονοξειδίο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο και είναι αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Η οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου είναι τα  $10 \text{ mg/m}^3$  (μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκτώωρου).

Το μονοξειδίο του άνθρακα παράγεται κατά την ατελή καύση των καυσίμων που περιέχουν υδρογονάνθρακες, δηλαδή όλων των ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες, προϊόντα πετρελαίου, φυσικό αέριο), αλλά και από την καύση του ξύλου. Η ατελής καύση των υδρογονανθράκων οδηγεί στο σχηματισμό CO, ενώ όταν η καύση είναι πλήρης, σχηματίζεται διοξειδίο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το μονοξειδίο του άνθρακα παράγεται όταν οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τέσσερις μεταβλητές δεν έχει την κατάλληλη (αρκετά αυξημένη) τιμή:

- τροφοδοσία της καύσης με οξυγόνο
- θερμοκρασία της φλόγας
- χρόνος παραμονής των αερίων σε υψηλή θερμοκρασία
- τυρβώδης ροή (επαρκής ανάμιξη) στο χώρο της καύσης

Οι παραπάνω παράμετροι ελέγχονται αυστηρότερα στην περίπτωση βιομηχανικών εγκαταστάσεων καύσης σε σύγκριση με τα διάφορα τροχοφόρα, τα οποία αποτελούν, και για το λόγο αυτόν, σημαντικότερη πηγή εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα. **Το 70% περίπου των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα αποδίδεται στα τροχοφόρα.** Οι ωριαίες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα σε μια αστική περιοχή αντανακλούν συχνά τις περιόδους αιχμής της κυκλοφορίας.



## ■ Επιπτώσεις

Το μονοξείδιο του άνθρακα χαρακτηρίζεται ως ατμοσφαιρικός ρύπος λόγω των επιπτώσεών του στην υγεία των ανθρώπων. Το μονοξείδιο του άνθρακα επηρεάζει την ικανότητα μεταφοράς του οξυγόνου στο αίμα. Όταν εισπνέεται, αντικαθιστά το οξυγόνο από την αιμογλοβίνη του αίματος και σχηματίζει καρβοξυαιμογλοβίνη (COHb). Αυτό συμβαίνει επειδή το μονοξείδιο του άνθρακα έχει πολύ μεγαλύτερη χημική συγγένεια με την αιμογλοβίνη από αυτήν που έχει το οξυγόνο. Επομένως, όταν αυτό βρίσκεται στον αέρα, ακόμα και σε μικρές ποσότητες, μπορεί να μειώσει σημαντικά το μεταφερόμενο οξυγόνο από το αίμα. Αποτέλεσμα της μείωσης του οξυγόνου στο αίμα είναι επιδράσεις στις διανοητικές λειτουργίες και αύξηση των καρδιακών ρυθμών στην προσπάθεια του οργανισμού να εξουδετερώσει την έλλειψη του οξυγόνου. Για να εκφράσουμε την περιεκτικότητα του μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα, χρησιμοποιούμε, συνήθως, ποσοστά της συγκέντρωσης κορεσμού της αιμογλοβίνης του αίματος σε μονοξείδιο του άνθρακα.

Τα συμπτώματα της επίδρασης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι εντονότερα στα ευαίσθητα άτομα, όπως π.χ. σε ανθρώπους που πάσχουν από καρδιαγγειακές παθήσεις. Σε ποσοστά COHb 2,5% αρχίζουν να παρατηρούνται αδυναμίες αντίληψης της διάρκειας ενός νυχτικού σήματος. Σε ποσοστά 10% εκδηλώνονται αδιαθεσίες και πονοκέφαλοι. Ποσοστά άνω του 50% θεωρούνται θανατηφόρα. Το ποσοστό δέσμευσης του μονοξειδίου του άνθρακα από την αιμογλοβίνη του αίματος εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα, αλλά και από το χρόνο έκθεσης.

Στις αστικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα συχνά κυμαίνονται μεταξύ 5 και 50 ppm, ενώ οι οδηγό των οχημάτων εκτίθενται συχνά σε συγκεντρώσεις έως 100 ppm. Βεβαίως, οι καπνιστές χαρακτηρίζονται από επίπεδα COHb στο αίμα μεταξύ 5% και 10% και δημιουργούν το δικό τους επιβαρυνμένο σε μονοξείδιο του άνθρακα περιβάλλον σε κλειστούς χώρους (μεταξύ 20 και 30 ppm).

## Μόλυβδος (Pb)

### ■ Πηγές

Ο μόλυβδος ανήκει στα βαρέα και τοξικά μέταλλα. Η οριακή τιμή του μολύβδου είναι η χαμηλότερη από όλους τους ρύπους:  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Υψηλότερη τιμή, μέχρι  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , επιτρέπεται μόνο στην άμεση γεινίαση βιομηχανικών πηγών που βρίσκονται σε βιομηχανίες ρυπανθείσες από δεκαετίες βιομηχανικών δραστηριοτήτων. **Η περιοχή στην οποία ισχύουν υψηλότερες οριακές τιμές δεν πρέπει να εκτείνεται πέραν των 1.000 μέτρων από τις συγκεκριμένες πηγές.**

Η παρουσία του μολύβδου στην ατμόσφαιρα συνδέθηκε στενά, ιδιαίτερα από τα μέσα του 20ού αιώνα και μέχρι τη δεκαετία του 1990, με τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των αυτοκινήτων. Ο μόλυβδος, με τη μορφή μιας πτητικής ένωσής του, του τετρααιθυλιούχου μολύβδου, προστίθεται στα καύσιμα σαν αντικροτικό για τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Μέχρι και τη δεκαετία του 1970, οι τιμές των συγκεντρώσεων του μολύβδου στην ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα των μεγάλων αστικών κέντρων, παρουσιάζονταν διεθνώς αυξημένες σε ανησυχητικά επίπεδα. Με την εφαρμογή της τεχνολογίας των καταλυτικών αυτοκινήτων, η προσθήκη του τετρααιθυλιούχου μολύβδου στις βενζίνες καταργήθηκε, διότι κατέστρεφε, «δηλητηρίαζε», όπως λέγεται, τους καταλύτες. Έτσι, ενώ πριν την αλλαγή της τεχνολογίας και την καθιέρωση των καταλυτικών αυτοκινήτων οι συγκεντρώσεις του είχαν λάβει ανησυχητικά αυξημένες τιμές, ιδιαίτερα στην ατμόσφαιρα των μεγάλων αστικών κέντρων, σήμερα οι εκπομπές μολύβδου από τα τροχοφόρα έχουν μειωθεί παγκόσμια κατά 98% και οι τιμές των συγκεντρώσεων του μολύβδου στην ατμόσφαιρα εμφανίζονται σημαντικά μειωμένες. Άλλη κύρια πηγή μολύβδου στην ατμόσφαιρα σήμερα αποτελούν συγκεκριμένες βιομηχανικές διεργασίες, όπως, για παράδειγμα, οι **μεταλλουργικές διεργασίες**. Οι διεργασίες αυτές συνήθως λαμβάνουν χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες και περιλαμβάνουν

νον απελευθέρωση θερμών απαερίων στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη των θερμών απαερίων στη θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα και τη μετατροπή σημαντικού μέρους της αέριας σε σωματιδιακή φάση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύ μικρών-λεπτών σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά είναι πολύ επικίνδυνα για την υγεία, διότι, λόγω του μεγέθους τους, αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και εισπνεόμενα κατεισδύουν στους πνεύμονες. Από τις κυψελίδες των πνευμόνων ο μόλυβδος εισέρχεται στο αίμα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μόλυβδου στην ατμόσφαιρα απαντώνται σήμερα κοντά σε εγκαταστάσεις κυτηρίων και καμίνων και σε βιομηχανίες μπαταριών.

## Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΛΑΥΡΙΟΥ

Στη χώρα μας υπάρχει μία χαρακτηριστική περίπτωση εκπομπών τοξικών σωματιδίων που περιέχουν μόλυβδο. Στο Λαύριο λειτουργούσαν από την αρχαιότητα τα μεταλλεία τα οποία έδωσαν τον άργυρο και συνδέθηκαν άρρηκτα με τους κλασσικούς χρόνους και τον Χρυσό Αιώνα του Περικλή. Μέχρι και τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα ήταν πολύ αξιόλογη. Από τις δραστηριότητες αυτές συσσωρεύτηκαν σε πολύ μικρή χωρική έκταση μεγάλες ποσότητες στερεών αποβλήτων, τα οποία δεν έτυχαν καμιάς ιδιαίτερης διαχείρισης. Ένα από τα κύρια είδη των αποβλήτων είναι λεπτόκοκκο και ψαθυρό, αποτελείται από ανθρακικά άλατα του μολύβδου και είχε αποτεθεί στην περιοχή σε μεγάλους ακάλυπτους σωρούς. Ο αέρας παρέσυρε και μετέφερε αυτήν την τοξική σκόνη παντού, για πολλά χρόνια. Επί σειρά ετών, έχουν καταγραφεί οι επιπτώσεις στον τοπικό πληθυσμό και υπάρχουν σχετικές επιδημιολογικές μελέτες και ανακοινώσεις που ανα-

φέρουν τα σοβαρά προβλήματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα, μαθησιακά προβλήματα και προβλήματα νοητικής υστέρησης στα παιδιά. Πρόσφατα, από τη δεκαετία του 1990 περίπου, και ενώ οι επιπτώσεις στη δημόσια υγεία ήταν πλέον γεγονός, και οι μηχανισμοί της διάδοσης της ρύπανσης έγιναν κατανοητοί, γίνεται πιο συστηματική προσπάθεια διαχείρισης των αποβλήτων στο Λαύριο. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται και τεχνικές περιορισμού της κινητικότητας της τοξικής αυτής σκόνης που χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε μόλυβδο.

## ■ Επιπτώσεις

Ο κύριος στόχος του μολύβδου είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα, ιδιαίτερα για τα παιδιά αλλά και για τους ενήλικες. Επηρεάζει, όμως, και κάθε όργανο και σύστημα του σώματος. Προβλήματα νοητικής υστέρησης και μαθησιακά προβλήματα στα παιδιά, προβλήματα συγκέντρωσης για τους ενήλικες, κινητικά προβλήματα, αναιμίες, νεφροπάθειες, αύξηση αρτηριακής πίεσης, προβλήματα στις εγκύους, προβλήματα γονιμότητας, έχουν διαπιστωθεί σε οργανισμούς εκτεθειμένους σε μόλυβδο και πληθυσμούς στους οποίους παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα. Οι επιπτώσεις του μολύβδου είναι το ίδιο σοβαρές είτε αυτός εισέρχεται στο σώμα από τη διατροφή είτε από την αναπνοή.

Οι επιπτώσεις του μολύβδου στα οικοσυστήματα συνδέονται άρρηκτα με την τοξικότητά του για τους ζώντες οργανισμούς. Τόσο η κινητικότητά του, δηλαδή σε ποιο βαθμό θα διαδοθεί μέσα σε ένα φυσικό μέσο, όσο και η τοξικότητά του συνδέονται άμεσα με την ύπαρξή του σε διαλυτή μορφή. Γενικά, όταν ένα τοξικό μέταλλο είναι σε διαλυτή μορφή, τότε είναι και βιοπροσλήψιμο.

## Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ<sub>10</sub> και ΑΣ<sub>2,5</sub>)

Πριν ξεκινήσουμε να μιλάμε για Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ), θα πρέπει να εξηγήσουμε γιατί ενδιαφέρει ο διαχωρισμός τους σε μεγέθη ή, καλύτερα, σε τάξεις μεγέθους, και να εξηγήσουμε τι σημαίνουν τα σύμβολα 10 και 2,5 δίπλα στη σύντμηση ΑΣ. Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα έχουν διαφορετικά μεγέθη και σχήματα. Για το λόγο αυτόν, χαρακτηρίζονται από την «αεροδυναμική τους διάμετρο» που είναι η διάμετρος αντίστοιχης σφαιρας, η οποία έχει τα ίδια αεροδυναμικά χαρακτηριστικά με τα πραγματικά σωματίδια. Η αεροδυναμική τους διάμετρος, που για συτομία αναφέρεται πολλές φορές ως διάμετρος, είναι πολύ μικρή και γι' αυτό την εκφράζουμε σε εκατομμυριοστά του μέτρου ή μικρόμετρα (μm):

1 μm = 1 εκατομμυριοστό του μέτρου!

Τα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται από 0,0002 μm έως 500 μm. Η **σκόνη** και ο **καπνός** είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Παλαιότερα, δεν υπήρχε η δυνατότητα διαχωρισμού των σωματιδίων κατά μέγεθος από τα όργανα προσδιορισμού των συγκεντρώσεών τους στον ατμοσφαιρικό αέρα και, επομένως, ήταν δυνατός μόνο ο προσδιορισμός της συνολικής συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Όμως, η εκτίμηση των επιπτώσεών τους στην υγεία, αλλά, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, η εκτίμηση του χρόνου που αυτά παραμένουν στην ατμόσφαιρα, δημιούργησε την ανάγκη να αναπτύξουμε συσκευές οι οποίες μας πληροφορούν για τη συγκέντρωση ορισμένων τάξεων μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων. Δηλαδή, η ανάγκη να ξέρουμε τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που ανήκουν σε μια περιοχή μεγεθών, προκειμένου να τα συσχετίσουμε με τις επιπτώσεις τους στην υγεία αλλά και με άλλους ρόλους που αυτά παίζουν στην ατμόσφαιρα, οδήγησε στην κατασκευή συσκευών που δειγματοληπτούν ορισμένη περιοχή μεγεθών. Οι συσκευές αυτές είναι

εφοδιασμένες με κατάλληλα στόμια που επιτρέπουν την κατακράτηση και, άρα, τον προσδιορισμό των σωματιδίων που έχουν π.χ. διάμετρο μικρότερη των 10 μm, ώστε να αναφερόμαστε στα  $A\Sigma_{10}$ , ή μικρότερη των 2,5 μm, οπότε αναφερόμαστε στα  $A\Sigma_{2,5}$ . Σήμερα, το ισχύον θεσμοθετημένο όριο<sup>5</sup> για τα  $A\Sigma_{10}$  είναι  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερες από 35 φορές ανά έτος, ενώ για τα  $A\Sigma_{2,5}$  υπάρχει τιμή-στόχος τα  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , η οποία θα ισχύσει ως οριακή τιμή την 1/1/2015, ενώ θα πρέπει να μειωθεί στα  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  την 1/1/2020. Επειδή, λοιπόν, όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο μεγαλύτερη η ικανότητα κατείδωσης στα κατώτερα μέρη του αναπνευστικού και σοβαρότερες οι επιπτώσεις τους στην υγεία, η τιμή-στόχος για τα  $A\Sigma_{2,5}$  ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) είναι μειωμένη κατά το ήμισυ αυτής για τα  $A\Sigma_{10}$  ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## ■ Πηγές

---

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: **φυσικές** και **ανθρωπογενείς**.

### Φυσικές Πηγές - Κατηγορίες Εκπομπών

- Επιφάνεια ωκεανών: Σταγονίδια που περιέχουν διάφορα άλατα, π.χ. χλωριούχο νάτριο, δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Επιφάνεια εδαφών: Εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών. Χαρακτηριστικά επεισόδια μεγάλης κλίμακας, τόσο σε ποσότητες σκόνης όσο και χωρικά (κλίμακα περιοχής), για τις χώρες της Μεσογείου και την Ελλάδα, κατά τη διάρκεια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής.
- Ηφαιστειακές εκρήξεις: περιλαμβάνονται πρωτογενή και δευτερογενή αερολύματα, πλούσια σε θειικά.

- Βιογενής ύλη (περιλαμβάνονται πρωτογενή σωματίδια και δευτερογενή από συμπύκνωση οργανικών ενώσεων που εκπέμπονται από φυτά).
- Καύση βιογενούς ύλης (αιθάλη).
- Προϊόντα φυσικής μετατροπής αερίου σε σωματίδιο, π.χ. θειικά από ενώσεις του θείου που εκπέμπονται από την επιφάνεια των ωκεανών.

### Ανθρωπογενείς Πηγές - Κατηγορίες Εκπομπών

- Εκπομπές πρωτογενούς σωματιδιακής ύλης από ανθρώπινες δραστηριότητες (αιθάλη, σκόνη).
- Καύσεις, ιδιαίτερα ορυκτών καυσίμων, και παραγωγή δευτερογενών αερολυμάτων τα οποία είναι προϊόντα αέριων ανθρωπογενών εκπομπών όπως: θειικά  $\text{SO}_4^{2-}$  και νιτρικά  $\text{NO}_3^-$  από την οξείδωση αερίων  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  αντίστοιχα, βαρέα μέταλλα, υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους.

Αυτό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία για τα αερολύματα είναι η μεγάλη ανομοιογένεια των συγκεντρώσεών τους στο χώρο και στο χρόνο. Έτσι, τα ανθρωπογενή αιωρούμενα σωματίδια κοντά στις πηγές εκπομπής τους, όπως στα μεγάλα αστικά κέντρα και στις βιομηχανικές περιοχές, συνεισφέρουν σημαντικά στην υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και η εισπνοή τους έχει σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων.

Άλλο ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η μεγάλη ποικιλία της σύστασής τους. Αυτή σχετίζεται και συνήθως καθορίζεται από την πηγή προέλευσής τους και πολλές φορές είναι πολύπλοκη. Για πρακτικούς λόγους, τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται συχνά σε ανόργανα και οργανικά. Η διάκριση αυτή σχετίζεται με τα κυριότερα συστατικά των σωματιδίων που υπάρχει περίπτωση να είναι ανόργανα, π.χ. οξείδια μετάλλων, θειικές ρίζες, νιτρικές ρίζες κ.λπ., ή οργανικά, π.χ. διάφοροι υδρογονάνθρακες. Αν και το θέμα είναι πολύπλοκο και πολύ εξειδικευμένο, θα δώσουμε δύο παραδείγματα συσχέτισης της σύστασης αιωρούμενων σωματιδίων με τις πηγές προέλευσής

τους και του μηχανισμού γένεσής τους με το μέγεθός τους, παράγοντες οι οποίοι είναι αλληλοεξαρτώμενοι.

As πάρουμε, λοιπόν, σωματίδια που προέρχονται από μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα. Τα σωματίδια αυτά θα είναι ανόργανα και θα έχουν χαρακτηριστική σύσταση του εδάφους προέλευσης πλούσια σε αργίλιο, πυρίτιο, τιτάνιο και ασβέστιο. Θα έχουν, επίσης, σχετικά μεγάλα μεγέθη στην περιοχή 1-10  $\mu\text{m}$ , διότι σχηματίστηκαν από μηχανικές-φυσικές διεργασίες.

As πάρουμε, τώρα, σωματίδια που προέρχονται από διαδικασίες καύσης, π.χ. από εκπομπές μηχανών ντήζελ<sup>6</sup> αυτά είναι πλούσια σε οργανικό και στοιχειακό άνθρακα. Άλλα σωματίδια που προέρχονται από την καύση καυσίμων πλούσιων σε θείο, όπως π.χ. ο λιγνίτης, το κάρβουνο και το μαζούτ, σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από μηχανισμούς οξειδωσης του διοξειδίου του θείου που περιέχεται στα απαέρια των καμινάδων. Οι διεργασίες σχηματισμού τους είναι φυσικοχημικές και οδηγούν στο σχηματισμό πολύ μικρότερων σωματιδίων από αυτά που δημιουργούνται από τις μηχανικές διεργασίες. Τα σωματίδια αυτά είναι όξινα, πλούσια σε θειικές ρίζες και έχουν πολύ μικρά μεγέθη, μικρότερα του 1  $\mu\text{m}$ , και, για το λόγο αυτόν, είναι πολύ επικίνδυνα για το αναπνευστικό.

Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας και γι' αυτό μπορεί να έχουν εξαιρετικές ροφητικές ιδιότητες. Έτσι, μεταφέρουν ροφημένα στην επιφάνειά τους συστατικά που είναι τοξικά και/ή χημικά ενεργά.

## ■ Επιπτώσεις

Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται, ανάλογα με το μέγεθός τους, μέσω της ρινικής κοιλότητας στο αναπνευστικό. Ανάλογα με το μέγεθός τους<sup>6</sup>:

6. *Spegler J. and Wilson R., 1996. Emission, Dispersion and Concentration of Particles, in Particles in our Air, Concentrations and Health Effects, Harvard School of Public Health, Harvard University Press.*



- **μεγαλύτερα από 11 μm:** δεν εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα
- **7,00-11,00 μm:** εισχωρούν στη ρινική κοιλότητα
- **4,70-7,00 μm:** εισχωρούν στο φάρυγγα
- **3,30-4,70 μm:** εισχωρούν στην τραχεία και στην αρχή των βρόγχων
- **2,10-3,30 μm:** εισχωρούν στο μέσο των βρόγχων
- **1,10-2,10 μm:** εισχωρούν στα τελευταία τμήματα των βρόγχων
- **0,65-1,10 μm:** εισχωρούν στα βρογχιόλια
- **0,43-0,65 μm:** εισχωρούν στις κυψελίδες των πνευμόνων

Είναι κατανοητό ότι η ικανότητα κατείδυσής τους στο αναπνευστικό, μαζί και με τη σύστασή τους, καθορίζει και τις επιπτώσεις τους στην υγεία.

Όπως ήδη καταλαβαίνουμε, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι εξαιρετικά επιβλαβείς ατμοσφαιρικοί ρύποι και ευθύνονται για πλήθος παθήσεων του αναπνευστικού και επιβάρυνση των καρδιακών νοσημάτων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Πρόγραμμα CAFE, Clean Air For Europe) εκτιμά ότι τα επίπεδα των ΑΣ<sub>2,5</sub> (σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από τα 2,5 μm) είναι υπεύθυνα για την απώλεια περίπου 3.000.000 ετών ζωής στην Ευρώπη και 288.000 πρόωρων θανάτων ανά έτος, κυρίως λόγω αναπνευστικών και καρδιακών προβλημάτων. Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα ενοχοποιούνται για:

- Αύξηση ευαισθησίας σε λοιμώξεις, λόγω εξασθενημένης άμυνας του οργανισμού.
- Φλεγμονές των αναπνευστικών οδών, οι οποίες οδηγούν σε εξασθενημένη και δυσχερή αναταλλαγή αερίων και υποξαιμία.
- Πρόκληση φλεγμονών στις κυψελίδες των πνευμόνων από πολύ μικρά σωματίδια, με απελευθέρωση ενδιαμέσων ουσιών που επιδεινώνουν ασθένειες των πνευμόνων και αυξάνουν την ηθτικότητα του αίματος.

- Επίσπευση συγκοπής καρδιάς σε ασθενείς με χρόνια καρδιακά νοσήματα, λόγω οξείας βρογχίτιδας ή πνευμονίας που προκλήθηκε από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

## Βενζόλιο

### ■ Πηγές

Το βενζόλιο είναι ένα άχρωμο αρωματικό υγρό το οποίο εξατμίζεται κάτω από τις συνήθεις ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανήκει στην κατηγορία των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ). Το βενζόλιο είναι τοξικό και καρκινογόνο. Για τους λόγους αυτούς, η οριακή τιμή του στην ατμόσφαιρα είναι πολύ χαμηλή, στα  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Το βενζόλιο παράγεται από την **πετροχημική και τη χημική βιομηχανία**. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ως διαλύτης σε διάφορες εφαρμογές, όπως, για παράδειγμα, στην παραγωγή πλαστικών, ρητινών, χρωμάτων, βερνικιών κ.λπ.

Σε αστικό περιβάλλον, η τυπική ανθρωπογενής πηγή βενζολίου είναι η **κυκλοφορία των τροχοφόρων**. Άλλες σημαντικές πηγές είναι τα πρατήρια των καυσίμων, καθώς και βιομηχανίες μικρής κλίμακας που χρησιμοποιούν το βενζόλιο ως διαλύτη, όπως τα **τυπογραφεία**. Οι εκπομπές από τα **πρατήρια καυσίμων** προέρχονται από την εξάτμιση των καυσίμων κατά το γέμισμα των δεξαμενών και την τροφοδοσία των τροχοφόρων με καύσιμα. Τόσο τα πρατήρια των καυσίμων όσο και τα τυπογραφεία έχουν τις εγκαταστάσεις τους σε αστικά κέντρα, με συνέπεια την έκθεση του πληθυσμού σε αυτού του είδους τη ρύπανση.

### ■ Επιπτώσεις

Η μακροχρόνια έκθεση εργαζομένων σε βενζόλιο έχει συνδεθεί με την εκδήλωση καρκίνων του αίματος, οι οποίοι παρατηρήθηκαν λίγα χρόνια μετά την έκθεσή τους. Σε εργασιακό περιβάλλον στο οποίο οι εργαζόμενοι έχουν εκτεθεί σε βενζόλιο έχουν ανα-

φερθεί εκδηλώσεις ασθενειών του αίματος, όπως διάφορες μορφές λευχαιμίας, το μυελοδυσπλαστικό σύνδρομο, η απλαστική αναιμία, το λέμφωμα κ.λπ.<sup>7</sup>

## Όζον (O<sub>3</sub>)

### ■ Πηγή

Όπως είδαμε στην παράγραφο που σχετίζεται με τα οξειδία του αζώτου, το όζον είναι ο κυριότερος δευτερογενής ρύπος που παράγεται στην ατμόσφαιρα μέσω φωτοηλυτικών αντιδράσεων των οξειδίων του αζώτου και των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (ΠΟΕ). Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, η τιμή-στόχος είναι τα 120 μg/m<sup>3</sup> [μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών, που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος, κατά μέσο όρο, σε 3 χρόνια].

### ■ Επιπτώσεις

Το όζον είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό και, για το λόγο αυτόν, επηρεάζει τους ιστούς των πνευμόνων, μειώνει την απόδοσή τους, τους ευαισθητοποιεί σε άλλες ερεθιστικές ουσίες, μειώνει την αντίστασή τους και, γενικότερα, την αντίσταση του οργανισμού και μπορεί να επιταχύνει τη γήρανση των ιστών. Είναι ερεθιστικό για τα μάτια και τους βλεννογόνους.

Για το φυσικό περιβάλλον, πάλι λόγω του ότι είναι ισχυρό οξειδωτικό, καταστρέφει τους ιστούς των φυτικών ειδών. Για το δομημένο περιβάλλον, επιταχύνει τη γήρανση και τη φθορά των υλικών.

7. [http://www.benzenefyi.com/benzene\\_health\\_effects\\_and\\_treatment.html](http://www.benzenefyi.com/benzene_health_effects_and_treatment.html),  
<http://www.epa.gov/ttn/at/hlthef/benzene.html>,  
<http://www.acute-myelogenous-leukemia.com/html/risk.html>

## Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)

Οι περισσότερες από τις Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)<sup>8</sup> είναι οργανικές ενώσεις που βρίσκονται υπό τις συνθήκες ατμοσφαιρικές συνθήκες στην αέρια φάση. Ο όρος περιλαμβάνει πάνω από 100 ενώσεις: όλες τις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα, με εξαίρεση το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, τις περισσότερες φορές, από τις ΠΟΕ εξαιρείται το μεθάνιο. Σε αυτές περιλαμβάνονται πολλές τάξεις οργανικών ενώσεων, όπως κεκορεσμένοι, ακόρεστοι αρωματικοί και ελαφρείς πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, οξυγονούχες και αλογονούχες ενώσεις.

### ■ Πηγές

Οι ΠΟΕ εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά και από φυσικές πηγές.

Σημαντική κατηγορία των ΠΟΕ αποτελούν διάφοροι υδρογονάνθρακες: κεκορεσμένοι, ακόρεστοι αρωματικοί και ελαφρείς πολυαρωματικοί, οι οποίοι αποτελούν συστατικά των ορυκτών καυσίμων. Η **πετροχημική βιομηχανία** και, ιδιαίτερα, τα διυλιστήρια αποτελούν κύρια σταθερή πηγή ΠΟΕ. Η καύση και η χρήση των ορυκτών καυσίμων για τις διάφορες καύσεις, είτε από σταθερές πηγές, δηλαδή βιομηχανικές εγκαταστάσεις και **θέρμανση**, είτε από κινητές πηγές, δηλαδή τα **τροχοφόρα**, είναι κύρια πηγή ΠΟΕ. Οι εκπομπές ΠΟΕ από τα τροχοφόρα οφείλονται στην ατελή καύση των καυσίμων.

Οξυγονούχες οργανικές ενώσεις αποτελούν τη δεύτερη κύρια κατηγορία των ΠΟΕ. Αυτοί συνήθως είναι δευτερογενείς ρύποι οι οποίοι παράγονται από τους πρωτογενείς, π.χ. υδρογονάνθρακες των καυσίμων, κατά τη φωτοχημική οξειδωσή τους στην ατμόσφαιρα. Αυτή η κατηγορία των ΠΟΕ περιλαμβάνει τη φορμαλδεϋδη, το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (Peroxy Acetyl Nitrate PAN), το νιτρικό υπεροξυβενζοϋλιο (Peroxy Benzoyl Nitrate PBN), που είναι δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι και θεωρούνται καρκινογόνοι.

Άλλη σημαντική πηγή απελευθέρωσης ΠΟΕ στην ατμόσφαιρα είναι η χρήση τους ως **διαλυτών** για την παραγωγή διαφόρων βιομηχανικών ειδών, όπως χρώματα, βερνίκια, μελάνια, φαρμακευτικά είδη, καλλυπτικά.

Ακόμα, η **ταφή απορριμμάτων** και ορισμένες **γεωργικές δραστηριότητες** συνεισφέρουν στις ποσότητες ορισμένων ΠΟΕ που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.

Η σχετική συνεισφορά των διαφόρων πηγών εκπομπών των ΠΟΕ κυμαίνεται σημαντικά από χώρα σε χώρα αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Επιπλέον, ο σχηματισμός των δευτερογενώς παραγόμενων ΠΟΕ στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι συνάρτηση τόσο της εποχής και των καιρικών συνθηκών που επικρατούν όσο και της ημερήσιας διακύμανσης της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, φυσικές πηγές ΠΟΕ οι οποίες δεν μπορούν να ελεγχθούν από τον άνθρωπο είναι εκπομπές από τα διάφορα φυτικά είδη των δασικών εκτάσεων, εκπομπές από δασικές πυρκαγιές και διάφορες αναερόβιες διεργασίες.

## ■ Επιπτώσεις

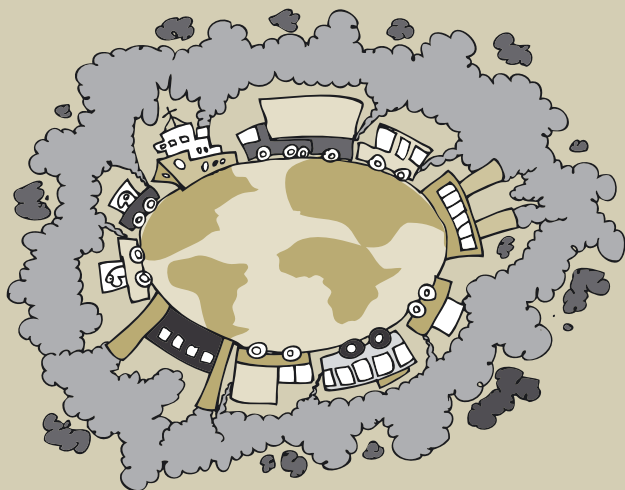
Είδαμε, ήδη, ότι ορισμένες ΠΟΕ, όπως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, με κύριο εκπρόσωπο το βενζόλιο, για το οποίο υπάρχει και θεσμοθετημένο όριο στη νομοθεσία, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Πολλές άλλες ΠΟΕ έχουν επίσης αυξημένη τοξικότητα και προκαλούν διάφορες μορφές καρκίνου, όπως οι πολυκυρηνικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι πολυχλωρωμένες διφαινυλικές ενώσεις, PCBs, οι διοξίνες, οι φουράνες κ.λπ.

Άλλες κύριες επιπτώσεις των ΠΟΕ στο περιβάλλον είναι η συνεισφορά τους στη φωτοχημική παραγωγή του όζοντος στην τροπόσφαιρα και η συνεισφορά τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, οι πιο αδρανείς χημικά ΠΟΕ μπορούν να έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα, να φθάσουν έτσι στην στρατόσφαιρα και εκεί, επειδή είναι διαθέσιμες ακτινοβολίες μεγαλύτερης ενέργειας, να συμμετάσχουν στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.



# 2

## Η ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ



## 2.1

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ

Τα μετεωρολογικά φαινόμενα και τα ατμοσφαιρικά δεδομένα μελετώνται, καταγράφονται και αναφέρονται σε διάφορες κλίμακες. Η κλίμακα η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στη μετεωρολογία, όταν πρόκειται να αναλύσουμε και να προβλέψουμε την κατάσταση της ατμόσφαιρας, ονομάζεται **συνοπτική κλίμακα**. Στην κλίμακα αυτή αντιστοιχούν στοιχειώδεις τομείς του ατμοσφαιρικού αέρα: οι συνοπτικοί τομείς. Οι διαστάσεις τους στο οριζόντιο επίπεδο είναι της τάξης των λίγων δεκάδων χιλιομέτρων. Τα δεδομένα που αντιστοιχούν στη συνοπτική κλίμακα παρέχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς εδάφους. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί παρατήρησης σε μια χώρα αποτελούν το εθνικό δίκτυο των σταθμών παρατήρησης και απέχουν μεταξύ τους, κατά μέσο όρο, μερικές δεκάδες χιλιόμετρα (ένας συνοπτικός τομέας έχει το κέντρο του στον αντίστοιχο σταθμό). Τα δεδομένα που μας παρέχουν αυτοί οι σταθμοί πολλές φορές είναι απαραίτητα για την ερμηνεία των δεδομένων που λαμβάνονται από τους σταθμούς παρακολούθησης των συγκεντρώσεων των βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων. Επιπλέον, σε κάθε τέτοιο σταθμό συνιστάται και η παράλληλη λειτουργία τοπικού μετεωρολογικού σταθμού εδάφους.

Για τη μελέτη τόσο των μετεωρολογικών φαινομένων όσο και των φαινομένων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, διακρίνουμε **πέντε** διαφορετικές **κλίμακες**: **την τοπική** (έκτασης 5 km), **την αστική** (50 km), **την περιφερειακή** (50-500 km), **την ηπειρωτική** (>500 km) και, τέλος, **την πλανητική κλίμακα**.

■ Σε **τοπική κλίμακα**, ενδιαφέρον παρουσιάζουν κυρίως σημειακές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες ρύπων. Η διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από σημειακές πηγές εκπομπής μπορεί να προβλεφθεί με χρήση κατάλληλων μαθηματικών προσομοιώσεων. Η μελέτη φαινομένων σε μικρότερη κλίμακα είναι δυνατή όταν θεωρήσουμε στοιχειώδεις τομείς «σωματιδίων» ατμοσφαιρικού αέρα διαστά-



σεων της τάξης των λίγων δεκάδων μέτρων. Σε τέτοια κλίμακα μελετώνται, συνήθως, οι κατακόρυφες κινήσεις των αερίων μαζών και οι συνθήκες διασποράς αερίων ρύπων που εκπέμπονται από σημειακή πηγή εκπομπής, π.χ. μια καμινάδα εργοστασίου.

■ Η **αστική κλίμακα** χρησιμοποιείται συνήθως στα αστικά κέντρα, όπου λαμβάνουν χώρα οι κυριότερες ανθρώπινες δραστηριότητες και συγκεντρώνεται η πλειοψηφία των πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων. Δύο τύποι προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Ο πρώτος είναι η εκπομπή πρωτογενών ρύπων (αυτών που εκπέμπονται απευθείας από τις πηγές εκπομπής). Ο δεύτερος είναι ο σχηματισμός δευτερογενών ρύπων, αυτών δηλαδή που σχηματίζονται μέσω χημικών αντιδράσεων από τους πρωτογενείς στην ατμόσφαιρα. Το όζον είναι ο σημαντικότερος δευτερογενής ρύπος.

■ Σε **περιφερειακή κλίμακα** το πρόβλημα εντοπίζεται στη μεταφορά των ρύπων από τις αστικές περιοχές σε μια ευρύτερη περιοχή γύρω από αυτές. Οι ρύποι αυτοί είτε είναι χημικά δραστικοί και μετατρέπονται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των αερίων μαζών σε άλλους, είτε είναι αδρανείς και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τους συναντούμε, επομένως, σε μεγάλες αποστάσεις από τις πηγές. Οι ρύποι μπορούν, επίσης, να ενσωματώνονται στα σύννεφα και να κατακρημνίζονται με τις βροχοπτώσεις σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων από το σημείο εκπομπής τους. Σε αυτήν τη διεργασία οφείλεται και η δημιουργία των όξινων βροχών, λόγω της διαλυτοποίησης θειικών και νιτρικών ιόντων στα σταγονίδια των νεφών. Η δημιουργία των όξινων βροχών παρατηρείται, πλέον, σε πολλά σημεία του πλανήτη και για το λόγο αυτόν αναφέρεται συνήθως ως πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πλανητική κλίμακα.

■ Την **ηπειρωτική κλίμακα** δεν μπορούμε να τη διακρίνουμε εύκολα από αυτήν μιας περιοχής στην περίπτωση της Ευρώπης, όπου υπάρχουν μεγάλα αστικά κέντρα και μικρά κράτη. Για την Ασία, όμως, μπορούμε να δώσουμε το παράδειγμα της Ιαπωνίας,

όπου η ατμόσφαιρά της επηρεάζεται από εκπομπές ρύπων που προέρχονται από την Κίνα και την Κορέα. Εδώ θα πρέπει να εισαγάγουμε την έννοια της διασυνοριακής ρύπανσης. Γίνεται προσπάθεια από τα διάφορα κράτη, τόσο πρακτικά όσο και θεσμικά, για την ταυτοποίηση και αντιμετώπιση του προβλήματος της διασυνοριακής ρύπανσης.

■ Τέλος, **σε πλανητικό επίπεδο**, θα πρέπει να αναφερθεί η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα λόγω της εντατικής χρήσης των ορυκτών καυσίμων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Καθώς η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εξακολουθεί να αυξάνεται, η θερμοκρασία του πλανήτη αναμένεται να αυξάνεται, προκαλώντας τεράστιες μεταβολές στις συνθήκες της ζωής του πλανήτη.

Σε πλανητική κλίμακα, επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί το πρόβλημα της μείωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα, ως συνέπεια της χρήσης από τον άνθρωπο προωθητικών αερίων σε διάφορα προϊόντα που περιείχαν χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons, CFC). Η μεταφορά των CFC από την τροπόσφαιρα προς τη στρατόσφαιρα και το στρώμα του όζοντος είναι πολύ αργή, λόγω του ότι οι αέριες μάζες των δύο αυτών στρωμάτων, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο, δεν αναμιγνύονται. Συνέπεια των παραπάνω είναι ότι μεσοθαβεί ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ της απελευθέρωσης αυτών των αερίων στην τροπόσφαιρα και των πρώτων επιπτώσεών τους στο στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος.

## ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

---

# 2.2

Όλες οι απευθείας εκπομπές πρωτογενών βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων ανήκουν στην κατηγορία των τοπικών εκπομπών. Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η μελέτη ενός φαινομένου ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και των επιπτώσεών του συνδέεται άμεσα με την κλίμακα θεώρησης του φαινομένου.

Οι τοπικές εκπομπές μπορούν να διακριθούν σε **τρεις μεγάλες κατηγορίες**:

- Εκπομπές από **κινητές πηγές**, δηλαδή τα πάσης φύσεως τροχοφόρα.
- Εκπομπές από **σημειακές πηγές**. Είναι κυρίως δύο ειδών: εκπομπές βιομηχανικών εγκαταστάσεων και εκπομπές από τις κεντρικές θερμάνσεις.
- Εκπομπές από **ατυχήματα**, που αφορούν τόσο σημειακές πηγές, όπως ατυχήματα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όσο και πηγές μεγαλύτερης έκτασης, όπως οι **δασικές πυρκαγιές**.

Οι τοπικές εκπομπές έχουν άμεσες επιπτώσεις σε τοπική και αστική κλίμακα, κύρια στους πληθυσμούς που διαβιούν και εργάζονται στη γειτονία των εκπομπών.

Δύο είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος των επιπτώσεων των τοπικών εκπομπών:

- Οι εκπεμπόμενες ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των ατμοσφαιρικών ρύπων από τις διάφορες πηγές.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν την περιοχή ως προς την ικανότητα διασποράς, τις συνθήκες ευστάθειας-αστάθειας και αερισμού της τοπικής ατμόσφαιρας αλλά και καθαρισμού της ατμόσφαιρας μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.

Οι εκπομπές από **κινητές πηγές**, δηλαδή οι εκπομπές από τα πάσης φύσεως τροχοφόρα, έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας σε αστική κλίμακα (πάνω από 70%) για την πλειοψηφία των βασικών ρύπων: οξείδια του αζώ-

του, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, ΠΟΕ. Παρότι τα τελευταία χρόνια στα Ελληνικά αστικά κέντρα έχει σημειωθεί σημαντική μείωση των εκπεμπομένων ποσοτήτων των ατμοσφαιρικών ρύπων, κύρια λόγω της αντικατάστασης των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας από τα καταλυτικά, η γήρανση του στόλου των αυτοκινήτων, τα πολεοδομικά και οικιστικά δεδομένα των Ελληνικών αστικών κέντρων και οι μετεωρολογικές συνθήκες, έχουν ως αποτέλεσμα μια πολύ επιβαρυσμένη ατμόσφαιρα για τα Ελληνικά αστικά κέντρα.

Σχετικά με τις **σημειακές πηγές εκπομπής**, όπως είναι οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, π.χ. μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τσιμεντοβιομηχανία, μεταλλουργική βιομηχανία, διυλιστήρια, αλλά και μικρότερες μονάδες, συχνά η χωροταξική τους κατανομή χαρακτηρίζεται από υπερσυγκέντρωση στην περιοχή των μεγάλων αστικών κέντρων. Για παράδειγμα, οι περιοχές Ασπρούργου και Ελευσίνας στην Αττική και η περιοχή της Θεσσαλονίκης παρουσιάζουν υπερσυγκέντρωση τέτοιων βιομηχανικών δραστηριοτήτων<sup>9</sup>.

Σήμερα, υπάρχουν τα μέσα ελαχιστοποίησης των εκπομπών και ως προς τις διαθέσιμες τεχνολογίες και ως προς τις προβλέψεις διασποράς με βάση την κλιματολογία μιας περιοχής μέσω μαθηματικών προσομοιώσεων. Επιπλέον, το νομοθετικό πλαίσιο και το πλαίσιο των όρων αδειοδότησης των βιομηχανικών μονάδων είναι αρκετά πλήρη από την άποψη των προδιαγραφών για τη χωροθέτηση της εγκατάστασης, των επιτρεπόμενων εκπεμπομένων ποσοτήτων ατμοσφαιρικών ρύπων και των απαιτήσεων εγκαταστάσεων συστημάτων δέσμμευσής τους στην πηγή. Με βάση αυτά τα «εργαλεία» που διαθέτει τόσο η τεχνολογία όσο και η πολι-

9. Όλο το φάσμα των βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων περιλαμβάνεται στις εκπομπές από τις σημειακές πηγές, ανάλογα με το είδος της παραγωγικής διαδικασίας, και παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3.

τεύα, είναι εφικτή η σωστή μελέτη ως προς την επιλογή των χώρων εγκατάστασης των βιομηχανικών μονάδων και των όρων λειτουργίας ως προς την ελαχιστοποίηση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Εκεί όπου η χώρα μας ακόμα υστερεί, είναι στους μηχανισμούς ελέγχου για την τήρηση των όρων λειτουργίας των μονάδων.

Σε **αστική κλίμακα**, δύο τύποι προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Ο πρώτος είναι η εκπομπή πρωτογενών ρύπων (αυτών που εκπέμπονται απευθείας από τις πηγές εκπομπής). Ο δεύτερος είναι ο σχηματισμός δευτερογενών ρύπων, αυτών, δηλαδή, που σχηματίζονται μέσω χημικών αντιδράσεων από τους πρωτογενείς στην ατμόσφαιρα, όπως το όζον.

Τέλος, διαφόρων ειδών ατυχήματα έρχονται να προσθέσουν σημαντική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας σε τοπική και αστική κλίμακα. Ατυχήματα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ενέχουν ιδιαίτερους κινδύνους από την άποψη της έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων επικίνδυνων χημικών. Οι δασικές πυρκαγιές που εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια του Μεσογειακού θέρους και έχουν πλήξει σοβαρά τη χώρα μας, ιδίως όταν επεκτείνονται σε μεγάλες περιοχές, αποτελούν σημαντικότερη πηγή εκπομπής όλου του φάσματος των βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων. Έμμεσα, η απογύμνωση των δασικών εκτάσεων οδηγεί σε περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, αφού χάνονται σημαντικότερα «φυσικά φίλτρα» ως προς την απορρόφηση αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα.

Είναι προφανές ότι οι τοπικές εκπομπές έχουν ευρύτερες επιπτώσεις για όλες τις άλλες θεωρούμενες ατμοσφαιρικές κλίμακες, και είναι αυτές που θα πρέπει να ελεγχθούν αποτελεσματικά, με στόχο να ελαχιστοποιηθούν, ώστε να μειωθούν τα φαινόμενα και οι επιπτώσεις της διασυστοριακής ρύπανσης και να ελεγχθούν τα φαινόμενα πλανητικής κλίμακας.

## 2.3

### ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΕΥΝΟΟΥΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

---

Η συγκέντρωση των ρύπων σε μια περιοχή εξαρτάται:

- από τις εκπεμπόμενες ποσότητες των ρύπων οι οποίες είναι άμεσα εξαρτώμενες από το πλήθος και το μέγεθος των πηγών εκπομπής.
- από τον αερισμό της περιοχής.

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τον δεύτερο παράγοντα, δηλαδή τις συνθήκες αερισμού μιας περιοχής και τους κυριότερους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Η περιγραφή και η ανάλυση αυτών των συνθηκών είναι πολύπλοκη και απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις μετεωρολογίας και μαθηματικών.

θα προσπαθήσουμε να δώσουμε με απλό περιγραφικό τρόπο κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις που ευνοούν επεισόδια ρύπανσης. Τέτοιες είναι **συνθήκες άπνοιας ή χαμηλών ταχυτήτων ανέμου και συνθήκες θερμοκρασιακών αναστροφών**. Οι τελευταίες είναι πολύ χαρακτηριστικές, διότι έχουν ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση των κατακόρυφων κινήσεων των αερίων μαζών και, άρα, τον εγκλωβισμό των ρύπων σε ένα στρώμα κοντά στο έδαφος. Όταν η ατμόσφαιρα **εμποδίζει τις κατακόρυφες κινήσεις**, λέμε ότι έχουμε **ευστάθεια**, ενώ όταν οι **κατακόρυφες κινήσεις ευνοούνται**, έχουμε **αστάθεια**.

Στο σημείο αυτό, και πριν παρουσιάσουμε κάποιες χαρακτηριστικές μετεωρολογικές συνθήκες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ικανότητα της ατμόσφαιρας να διασπείρει τη ρύπανση, θα πρέπει να θυμόμαστε ότι η κατατομή της θερμοκρασίας του αέρα, δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με την απόσταση από το έδαφος, ακολουθεί μία καμπύλη που στην ιδανική περίπτωση είναι ευθεία και έχει αρνητική κλίση: Η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της γης. Όταν η θερμοκρασία ακολουθεί αυτήν την κατα-

τομή, δηλαδή ελαττώνεται με το ύψος, η ατμόσφαιρα είναι ασταθής και ευνοούνται οι κάθετες κινήσεις των αερίων μαζών. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος, η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται ως ευσταθής και οι κάθετες κινήσεις των αερίων μαζών δεν ευνοούνται.

**Θερμοκρασιακές αναστροφές:** Ονομάζονται τα φαινόμενα κατά τα οποία η θερμοκρασία του αέρα σε ένα στρώμα πάνω από το έδαφος είναι μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί κοντά στο έδαφος. Αυτό συμβαίνει σε δύο περιπτώσεις:

1. Όταν, για κάποιο λόγο, τα κατώτερα στρώματα του αέρα που είναι σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους ψύχονται γρήγορα. Για παράδειγμα, κατά την **αναστροφή ακτινοβολίας**, που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ανέφελης νύχτας με άπνοια. Τα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα ψύχονται λόγω διαφυγής της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το έδαφος.
2. Όταν μεταφέρεται θερμότερος αέρας πάνω από ψυχρότερο. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα αντικυκλώνα, δηλαδή υψηλών πιέσεων, εξαιτίας των υψηλών πιέσεων στο κέντρο του, δημιουργείται μια κατακόρυφη κίνηση των αερίων μαζών με διεύθυνση το κέντρο. Αποτέλεσμα είναι συμπίεση και θέρμανση του αέρα. Αυτό το είδος της αναστροφής λέγεται **αναστροφή από «κατάπτωση»**.

Για συγκεκριμένη ποσότητα εκπεμπόμενων ρύπων, π.χ. από μια καμινάδα, όταν η ταχύτητα του αέρα που περνά πάνω από αυτήν την πηγή είναι μικρή, τότε οι συγκεντρώσεις των ρύπων στις αέριες μάζες που κινούνται κατά τη διεύθυνση του αέρα είναι αναμενόμενο να είναι μεγαλύτερες από αυτές που θα αντιστοιχούσαν σε μεγαλύτερη ταχύτητα αέρα. Την ταχύτητα του αέρα την καθορίζουν οι διαφορές πίεσης που δημιουργούνται στον αέρα.

Όταν επικρατούν συστήματα χαμηλών πιέσεων ή, όπως λέμε, βαρομετρικά χαμηλά, η ταχύτητα του αέρα είναι χαμηλή στο κέντρο του συστήματος και σε μεγαλύτερες αποστάσεις έχουμε σχετικά

μεγάλες ταχύτητες και καλές συνθήκες αερισμού. Επιπλέον, στο κέντρο του συστήματος οι αέριες μάζες εμφανίζουν ανοδικά ρεύματα. Τα συστήματα των χαμηλών πιέσεων έχουν μικρή γεωγραφική έκταση και κινούνται γρήγορα. Επίσης, συνοδεύονται τακτικά από νεφώσεις και βροχοπτώσεις που ενισχύουν την ικανότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας από ρύπους. Άρα, συνολικά, μπορούμε να πούμε ότι **τα συστήματα χαμηλών πιέσεων σε μια περιοχή οδηγούν σε καλές συνθήκες αερισμού.**

Όταν επικρατούν υψηλές πιέσεις σε μια περιοχή, τα συστήματα κινούνται αργά και καλύπτουν μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές. Η ροή του ανέμου έχει κατεύθυνση από το κέντρο προς την περιφέρεια, και στο κέντρο εμφανίζονται καθοδικοί άνεμοι. Λόγω των καθοδικών κινήσεων, εμφανίζονται θερμοκρασιακές αναστροφές κατάπτωσης. Επιπλέον, επειδή τα υψηλά βαρομετρικά συνοδεύονται από ανέφελο ουρανό, είναι συχνή η εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών ακτινοβολίας κατά τη νύχτα και τις πρώτες πρωινές ώρες. Άρα, συνολικά, όταν σε μια περιοχή επικρατούν υψηλές πιέσεις, τόσο οι χαμηλές ταχύτητες του ανέμου όσο και η εύνοια των θερμοκρασιακών αναστροφών επιδρούν αρνητικά στον αερισμό της περιοχής. Ιδιαίτερα, ακόμα και κατά τη διάρκεια της μέρας που η ατμόσφαιρα είναι ασταθής, η δημιουργία αναστροφής από κατάπτωση μειώνει το ύψος του στρώματος ανάμιξης κοντά στο έδαφος και ευνοεί τον εγκλωβισμό των ρύπων. Τα φαινόμενα αυτά εκδηλώνονται πολύ συχνά στη χώρα μας υπό συνθήκες καλοκαιρίας και άπνοιας, οι οποίες καλύπτουν μεγάλες περιόδους του έτους. Αυτά ακριβώς τα μετεωρολογικά φαινόμενα συνετέλεσαν σημαντικά στις συχνές εκδηλώσεις επεισοδίων φωτοχημικής ρύπανσης που, όπως θα δούμε στην παράγραφο που ακολουθεί, ήταν ιδιαίτερα έντονα κατά τις δεκαετίες 1980-1990.

Όταν, για παράδειγμα, μια καμινάδα είναι κτισμένη σε ύψος μικρότερο από το ύψος θερμοκρασιακής αναστροφής, οι αέριοι ρύποι παγιδεύονται κοντά στο έδαφος. Όταν η καμινάδα είναι κτισμένη σε ύψος μεγαλύτερο από το ύψος της αναστροφής, οι αέριοι ρύποι δεν φθάνουν στο έδαφος, αλλά διοχετεύονται σε μεγαλύτερες



αποστάσεις. Παλαιότερα, η κατασκευή όλο και υψηλότερων καμινάδων θεωρείτο λύση σε προβλήματα αντιμετώπισης τοπικών εκπομπών. Όταν συνειδητοποιήσαμε, όμως, την εξάπλωση του φαινομένου της όξινης βροχής σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων από τις πηγές εκπομπής του διοξειδίου του θείου, έγινε και κατανοητό ότι η δυνατότητα διάχυσης και διασποράς της ρύπανσης δεν αποτελεί, πλέον, λύση στο πρόβλημα.



## 2.4

### ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥΠΟΛΕΩΝ

Με μία φράση θα λέγαμε ότι για να εκδηλωθεί **επεισόδιο φωτοχημικής ρύπανσης** θα πρέπει:

Ο **αέρας** πάνω από την περιοχή του μεγάλου αστικού κέντρου να είναι σχετικά **στάσιμος**, να προσλαμβάνει **ακτινοβολία από τον ήλιο** υπό συνθήκες χαμηλής υγρασίας και να δέχεται ταυτόχρονα **εκπομπές οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων**.

Το φωτοχημικό νέφος δημιουργεί σημαντικούς κινδύνους για την υγεία των εκατομμυρίων ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτό στα μεγάλα αστικά κέντρα, και έχει αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό και στο δομημένο περιβάλλον.

Αν συντρέχουν οι μετεωρολογικές προϋποθέσεις, οι επιπτώσεις του φωτοχημικού νέφους αλλά και ο σχηματισμός του μπορούν να εκδηλωθούν αρκετά αργότερα και σε αρκετή απόσταση από τις πηγές εκπομπής των πρωτογενών ρύπων: οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων.

Μια πιο αναλυτική ματιά παραπέμπει σε δύο ουσιαστικές προϋποθέσεις-χαρακτηριστικά της τροπόσφαιρας:

→ Το οξειδωτικό περιβάλλον που δημιουργείται τόσο από την ύπαρξη του οξυγόνου στον ατμοσφαιρικό αέρα όσο και από ορισμένα προϊόντα φωτολυτικών αντιδράσεων.

→ Τις υπεριώδεις ακτινοβολίες από τον ήλιο και, μάλιστα, αυτές που φθάνουν τελικά στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Οι ακτινοβολίες αυτές φωτοδιασπούν ή, όπως λέμε, φωτολύουν ορισμένα από τα αέρια που υπάρχουν στον αέρα, όπως τα οξείδια του αζώτου. Οι μηχανισμοί που περιγράφουν το φωτοχημικό νέφος είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι.

Το ισχυρά οξειδωτικό περιβάλλον είναι υπεύθυνο για την τελική τύχη όλων των αερίων στην τροπόσφαιρα, είτε είναι φυσικά συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα είτε ατμοσφαιρικοί ρύποι. Σχεδόν όλα τα αέρια που εκπέμπονται στον αέρα τελικά οξειδώνονται. Οι αντιδράσεις οξειδωσης, λοιπόν, είναι καθοριστικές για την τελική τύχη όλων των ατμοσφαιρικών εκπομπών.

Στα αστικά και στα βιομηχανικά κέντρα, οι διάφορες καύσεις ορυκτών καυσίμων αποτελούν τη σημαντικότερη ανθρωπογενή πηγή υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, των σημαντικότερων εκπροσώπων των ΠΟΕ. Άλλες σημαντικές πηγές είναι η απευθείας εκπομπή πτητικών υδρογονανθράκων από τα υγρά και τα αέρια ορυκτά καύσιμα και από τη χρήση διαλυτών σε διάφορες εφαρμογές. Οι **πτητικοί υδρογονάνθρακες** που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη αφθονία είναι ορισμένοι κεκορεσμένοι και ακόρεστοι υδρογονάνθρακες μικρής ανθρακικής αλυσίδας, όπως τα βουτάνια, τα οποία εκπέμπονται από τις βενζίνες και τους διαλύτες, τη διύλιση του πετρελαίου και τη μεταφορά των πετρελαιοειδών. Επίσης, το τολουόλιο παρουσιάζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα των αστικών και βιομηχανικών κέντρων σε αφθονία και εκπέμπεται στον αέρα από τις εξατμίσεις των τροχοφόρων και τη χρήση διαλυτών.

Οι ανθρωπογενείς πηγές συνεισφέρουν μόνο κατά το 1/7 της συνολικής ποσότητας των υδρογονανθράκων που απαντώνται στην ατμόσφαιρα. Αυτήν την αναλογία τη διαμορφώνουν κύρια οι τεράστιες ποσότητες μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ), οι οποίες εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από την αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ύλης σε νερά, ιζήματα και εδάφη. Το μεθάνιο εξετάζεται ως προς τον περιβαλλοντικό του ρόλο, κυρίως για τη συμμετοχή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μπορεί, επίσης, να συμμετάσχει σε φωτοχημικές οξειδώσεις, διαμορφώνοντας τη συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος σε περιοχές απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα. Παρά το ότι οι ποσότητες φυσικά εκπεμπόμενων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα είναι, συνολικά, πολύ μεγαλύτερες

από αυτές που εκπέμπονται από τις ανθρωπογενείς πηγές στις αστικές και περιαστικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις των ΠΟΕ που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα λόγω των ανθρωπινων δραστηριοτήτων είναι κατά πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τις πηγές εκπομπής. Επιπλέον, οι φυσικές πηγές εκπέμπουν μόρια υδρογονανθράκων τα οποία είναι χαρακτηριστικά για την κάθε πηγή και διαφοροποιούνται σαφώς από τις ΠΟΕ που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, λόγω της συνεχούς χρήσης ορυκτών καυσίμων.

Η κυριότερη φυσική πηγή υδρογονανθράκων είναι η βλάστηση. Άλλες σημαντικές φυσικές πηγές υδρογονανθράκων είναι οι πυρκαγιές των δασών και οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Από τη βλάστηση εκπέμπονται χαρακτηριστικές τάξεις οργανικών ενώσεων, όπως είναι τα τερπένια, που εκπέμπονται από τα κωνοφόρα και τα εσπεριδοειδή. Είναι ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους και συμμετέχουν στην ατμοσφαιρική χημεία δίνοντας, κυρίως, οργανικά ατμοσφαιρικά σωματίδια.

Η σημαντικότερη περιβαλλοντική επίπτωση των εκπομπών των ΠΟΕ προέρχεται από τη δυνατότητα που έχουν να συμμετέχουν στην αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος και στο σχηματισμό δευτερογενών οξειδωμένων παραγώγων τους μέσω των μηχανισμών που χαρακτηρίζουν το σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τους πτητικούς ακόρεστους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι, λόγω των πολλαπλών δεσμών, παρουσιάζουν αυξημένη χημική δραστηριότητα και συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις με τα ατμοσφαιρικά οξειδωτικά (όπως το οξυγόνο,  $O_2$ , και το όζον,  $O_3$ ), δίνοντας ως τελικά προϊόντα οξείδωσης συνήθως καρβονυλικές ενώσεις, δηλαδή αλδεΐδες και κετόνες, που είναι δευτερογενείς ρύποι και πολλές από αυτές θεωρούνται καρκινογόνες.

## Το Φωτοχημικό νέφος των Ελληνικών μεγαλουπόλεων

Το φωτοχημικό νέφος ή οξειδωτικό νέφος των μεγαλουπόλεων είναι ένα μείζον φαινόμενο ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πολύ γνωστό στις μεγαλουπόλεις της χώρας μας για δύο κύριους λόγους:

- Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από μεγάλες περιόδους καλοκαιρίας και ανομβρίας, κατά τις οποίες έχουμε παρατεταμένη και έντονη ηλιοφάνεια στη διάρκεια της ημέρας.
- Τις τελευταίες δεκαετίες, οι Ελληνικές μεγαλουπόλεις αναπτύχθηκαν και επεκτάθηκαν με ραγδαίους ρυθμούς, συγκεντρώνοντας μόνο στο λεκανοπέδιο της Αττικής παραπάνω από το μισό πληθυσμό της χώρας. Η βιομηχανική δραστηριότητα της χώρας απαντάται, επίσης, γύρω από τις Ελληνικές μεγαλουπόλεις. Τα μέγιστα, επομένως, των πάσης φύσεως ανθρωπογενών ατμοσφαιρικών εκπομπών εντοπίζονται στις περιοχές των Ελληνικών μεγαλουπόλεων και γύρω από αυτές.

Το είδος αυτό ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να αναφερθεί ως αστική ρύπανση εφόσον οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στα οχήματα, και κατά δεύτερο λόγο στις κεντρικές θερμάνσεις, με τη βιομηχανία να έχει σαφώς μικρότερη συνεισφορά, ανάλογα με τη βιομηχανική ανάπτυξη περιαστικά. Η κυριότερη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό των πάσης φύσεως οχημάτων, στον υψηλό μέσο όρο ηλικίας τους (12 έτη για τα ΙΧ και ελαφρά φορτηγά και 17 έτη για τα βαρέα), και στα κυκλοφοριακά προβλήματα. Η συνεισφορά των πάσης φύσεως οχημάτων εκτιμάται ότι για τις ελληνικές μεγαλουπόλεις ξεπερνά, σε όλες τις περιπτώσεις, το 70% του συνόλου των εκπομπών.

Σήμερα, αξίζει να σημειώσουμε ότι τα φαινόμενα αυτά δεν εκδηλώνονται, πλέον, με τη μορφή και τη συχνότητα των έντονων επεισοδίων που γνωρίσαμε κατά τη δεκαετία του 1980 και την αρχή της δεκαετίας του 1990.

Στις ελληνικές μεγαλουπόλεις, Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Βόλο, Λάρισα και Ηράκλειο, λειτούργούν σταθμοί συνεχούς καταγραφής των συγκεντρώσεων των περισσότερων βασικών ρύπων

οι οποίοι ανήκουν στο εθνικό δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συστηματικές καταγραφές βασικών ρύπων, και ειδικά των αιωρούμενων σωματιδίων, γίνονται, επίσης, για την Κοζάνη και την Πτολεμαΐδα.

Επιπλέον του προβλήματος των εκπομπών αυτών καθ' αυτών από τα οχήματα, τα προβλήματα εντείνονται λόγω αιτιών που σχετίζονται άμεσα με θέματα οργάνωσης του συστήματος μεταφορών, συντονισμού του χωροταξικού/πολιεοδομικού και συγκοινωνιακού σχεδιασμού, ελλείψεων υποδομών, όπως χώρων στάθμευσης και χώρων υποδοχής εμπορευμάτων, γενικότερων ελλείψεων σε επίπεδο λειτουργίας και οργάνωσης των συγκοινωνιών. Παρά το γεγονός ότι όλα τα παραπάνω επιδέχονται σημαντικότερες παρεμβάσεις και βελτιώσεις, αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι, θεωρώντας ως έτος βάσης το 1990, στις ελληνικές μεγαλουπόλεις έχουμε σημαντικές βελτιώσεις της ποιότητας του αέρα ως προς τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους:

**Το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και ο μόλυβδος** εμφανίζουν στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας συγκεντρώσεις χαμηλότερες από τα νομοθετημένα όρια. Η εφαρμογή του μέτρου απόσυρσης των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας (1992-1993) και η αντικατάστασή τους από τα καταλυτικά ήταν ο κύριος λόγος της μείωσης των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα των ελληνικών αστικών κέντρων<sup>10</sup>. Η κατάργηση της χρήσης μαζούτ στις κεντρικές θερμάνσεις και η μείωση της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα οδήγησαν σε σημαντική μείωση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου. Τέλος, η απαγόρευση χρήσης μολυβδωμένης βενζίνης (1/1/2002) οδήγησε σε περαιτέρω μείωση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων του μολύβδου, οι οποίες είχαν ήδη σημαντικά μειωθεί με την αντικατάσταση του στόλου των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας από τα καταλυτικά.

**Τα οξείδια του αζώτου** επίσης εμφανίζουν, πλέον, τιμές κάτω από τα νομοθετημένα όρια, κυρίως ως αποτέλεσμα της κυκλοφορίας καταλυτικών οχημάτων. Υπερβάσεις του σημερινού ορίου παρατηρούνται μόνο τοπικά στην Αθήνα, σε περιοχές έντοννης κυκλοφορίας<sup>11</sup>.

**Οι ΠΟΕ** (πλήν μεθανίου) εμφανίζουν μειωμένες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις κατά περίπου 21%, με έτος βάσης το 1990 (στοιχεία από ΔΕΑΡΘ), λόγω, και εδώ, συμβολής των καταλυτικών αυτοκινήτων στη μείωση αυτή.

**Το όζον, και κυρίως τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ<sub>10</sub>**, είναι οι βασικοί ρύποι οι οποίοι εμφανίζουν τιμές πάνω από τα νομοθετημένα όρια.

Το όζον, ως ο σημαντικότερος και σε μεγαλύτερη αφθονία παραγόμενος δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος κατά την εκδήλωση φωτοχημικής ρύπανσης, εμφανίζει αυξημένες συγκεντρώσεις πέραν της τιμής στόχου (120 μg/m<sup>3</sup>) σε σταθμούς μέτρησης εκτός του αστικού κέντρου, π.χ. για την Αθήνα, στους σταθμούς θρακομακεδόνων και Ν. Σμύρνης (10 φορές και 8 φορές αντίστοιχα κατά το 2006 - στοιχεία από ΔΕΑΡΘ). Αυτό οφείλεται στο μηχανισμό σχηματισμού του, όπως εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 1, αλλά και στην τοπογραφία.

Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ<sub>10</sub> οφείλουν την παρουσία τους στην ατμόσφαιρα των Ελληνικών μεγαλουπόλεων, σε ένα μίγμα από πηγές που σχετίζονται κύρια με δύο μεγάλες συνιστώσες:

- **την ανθρωπογενή:** κυκλοφορία των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, βιομηχανία και κεντρικές θερμάνσεις και
- **τη φυσική:** φυσικά αερολύματα αλλά κυρίως επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών των ερημικών περιοχών της Αφρικής.

11. Εισήγηση για το Εθνικό Σχέδιο Αντιμετώπισης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, στοιχεία από ΔΕΑΡΘ, <http://www.minenv.gr/download/2008-0512eisigisi.gia.to.ethniko.sxedio.antimetopisis.tis.atmosferikis.ripansis.doc>

## 2.5

### ΔΙΑΣΥΝΟΡΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

---

Είναι κατανοητό ότι οι ρύποι μπορούν να μεταφέρονται μέσω των εδαφών, των επιφανειακών και υπόγειων νερών και του ατμοσφαιρικού αέρα, σε σημαντικές αποστάσεις από τις πηγές εκπομπής τους. Ενώ μέσω των εδαφών η ρύπανση μπορεί να επεκταθεί σε σχετικά περιορισμένη χωρική έκταση και, άρα, είναι ευκολότερα ελέγξιμη, η ρύπανση μέσω των υδάτινων σωμάτων είναι δυνατόν να διαδοθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, όμως, είναι, σε σχέση με τα άλλα δύο μέσα, εκείνο που έχει την ικανότητα να μεταφέρει τους ρύπους στις μεγαλύτερες δυνατές αποστάσεις, που μπορούν να φτάσουν και τα χιλιάδες χιλιόμετρα!

#### ΒΟΡΕΙΟ ΚΑΙ ΝΟΤΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ

---

Η αλληλεπίδραση αερίων μαζών μεταξύ Βορείου και Νοτίου Ημισφαιρίου διαπιστώθηκε στο τέλος της δεκαετίας του 1950 με αρχές της δεκαετίας του 1960, ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης ραδιενεργών στοιχείων στη στρατόσφαιρα από τις πυρηνικές δοκιμές που έγιναν στον Ειρηνικό Ωκεανό! Τα ραδιενεργά στοιχεία εισήλθαν, αρχικά, στη στρατόσφαιρα του Βορείου Ημισφαιρίου. Η στρατόσφαιρα είναι αρκετά σταθερή και οι κατακόρυφες ανταλλαγές αερίων μαζών μεταξύ των στρωμάτων της ατμόσφαιρας είναι αργές. Βρέθηκε, επίσης, ότι οι ανταλλαγές αερίων μαζών στο ύψος της στρατόσφαιρας μεταξύ Βορείου και Νοτίου Ημισφαιρίου είναι αρκετά αργές. Παρόλα αυτά, ραδιενεργά στοιχεία εμφανίστηκαν στο Νότιο Ημισφαίριο τρία χρόνια μετά τις δοκιμές, σε συγκεντρώσεις που ήταν, βέβαια, πολύ χαμηλότερες από αυτές που παρατηρήθηκαν στο Βόρειο Ημισφαίριο.



Οι αποστάσεις που μπορεί να φτάσει ένας ρύπος εξαρτώνται από τρεις κύριες ομάδες παραμέτρων:

1. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ρύπου, π.χ. αν είναι αέριος ή σε μορφή σωματιδίων, αν υφίσταται μετατροπές ή είναι αδρανής κ.λπ.
2. Τους μηχανισμούς αποχωρισμού του ρύπου από την ατμόσφαιρα, π.χ. αν ενσωματώνεται στα σταγονίδια των νεφών, αποχωρίζεται γρήγορα από την ατμόσφαιρα μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (βροχή, χιόνι).
3. Τα συστήματα κυκλοφορίας των ανέμων.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι καθορίζουν το χρόνο παραμονής ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα, τόσο πιο μεγάλες είναι οι αποστάσεις στις οποίες μπορεί να μεταφέρεται η ρύπανση.

Σήμερα, η διασυννοριακή μεταφορά ρύπων παρακολουθείται παγκόσμια με διάφορους τρόπους, όπως οι δορυφορικές εικόνες, οι προσδιορισμοί συγκεντρώσεων ρύπων σε επίγειους σταθμούς και οι μαθηματικές προσομοιώσεις (μετεωρολογικά μοντέλα και μοντέλα υπολογισμού συγκεντρώσεων ρύπων σε συνοπτική κλίμακα ή και μεγαλύτερη) οι οποίες χρησιμοποιούν συνδυασμούς των παραπάνω.



## ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΕΜΕΡ

Για την παρακολούθηση της διασυννοριακής ρύπανσης, οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν συστήσει από το 1986 το δίκτυο ΕΜΕΡ: Cooperative Program for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, με 100, περίπου, επίγειους σταθμούς παρακολούθησης των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων σε όλη την Ευρώπη. Το δίκτυο ακολουθεί πρότυπη μεθοδολογία δειγματοληψίας και προσδιορισμών όλου του φάσματος των ρύπων, η οποία περιγράφεται λεπτομερώς σε ειδικά αρχεία. Όλες οι χώρες που συμμετέχουν στο δίκτυο είναι υποχρεωμένες να ακολουθούν τη μεθοδολογία αυτή, προκειμένου τα καταγραφόμενα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία, π.χ. εισαγωγή στα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της μεταφοράς των ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις.

Το 1986 συνέβη ένα σοβαρότατο πυρηνικό ατύχημα στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Τσερνόμπιλ, κοντά στο Κίεβο, στην Ουκρανία. Τα ραδιενεργά ισότοπα: Στροντίου ( $\text{Sr}^{90}$ ), καισίου ( $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Cs}^{134}$ ) και Ιωδίου ( $\text{I}^{131}$ ) που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα σε πολύ μεγάλες ποσότητες, της τάξης των 1018 Bq (Bq: Μπεκερέλ, μονάδα μέτρησης ραδιενέργειας), έφτασαν και στη χώρα μας, αλλιά και σε μεγάλη έκταση της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης, μέσω της κυκλοφορίας των ανέμων. Η κατανομή τους ποίκιλε, ανάλογα με την κυκλοφορία των ανέμων και την τοπογεωγραφία της περιοχής. Η κατανομή της εναπόθεσης για τη χώρα μας ήταν σημαντική, κύρια για τους Νομούς Ημαθίας, Πιερίας, Κοζάνης, Ιωαννίνων και Τρικάλων<sup>12</sup>.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το λιγνίτη, τόσο στη Β. Ελλάδα όσο και σε βαλκανικές χώρες, όπως η Βουλγαρία, η Ρουμανία και η πρώην Γιουγκοσλαβία, είναι κύριες πηγές εκπομπής διοξειδίου του θείου και είναι υπεύθυνοι για τις συγκεντρώσεις θειικών αερολυμάτων που μετρούνται σε μεγάλες αποστάσεις, όπως π.χ. στην περιοχή της Θεσσαλονίκης<sup>13</sup>, αλλιά και στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου<sup>14</sup>.

12. Βεργεγελάκης Α., Κρητίδης Π., Οικονόμου Λ., Παπάζογλου Ι., Παπανικολάου Ε., Σιδέρης Λ., Σμιόπουλος Α., 1989. *Εμείς και η ραδιενέργεια, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης*
13. Zerefos C., Ganev K., Kourtidis K., Tzortziou M., Vasaras A. and Syrakou E., 2000. *On the origin of SO2 above Northern Greece, Geophys. Res. Lett., Vol 27, No3, 365-368*
14. Bardouki H., Liakakou H., Economou C., Smolic J., Zdimal V., Eleftheriadis K., Lazaridis M. and Mihalopoulos N., 2003. *Chemical composition of size resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter, Atmos. Environ., 37, 195-208*

## 2.6

### ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε δύο φαινόμενα πλανητικής κλίμακας που σχετίζονται στενά με τις ανθρωπογενείς εκπομπές: Την ενίσχυση του **φαινομένου του θερμοκηπίου** και το **φαινόμενο της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος**.

Τόσο το φαινόμενο του θερμοκηπίου όσο και η ύπαρξη όζοντος στη στρατόσφαιρα είναι φαινόμενα φυσικά και οφείλονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα ατμοσφαιρικά αέρια.

Τόσο η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος οφείλονται σε αύξηση συγκεντρώσεων αερίων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, τα οποία είτε προϋπήρχαν σε ίχνη στην ατμόσφαιρα είτε είναι ξένα προς τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα.

**Τρεις θεμελιώδεις διαφορές** υπάρχουν μεταξύ των δύο φαινομένων:

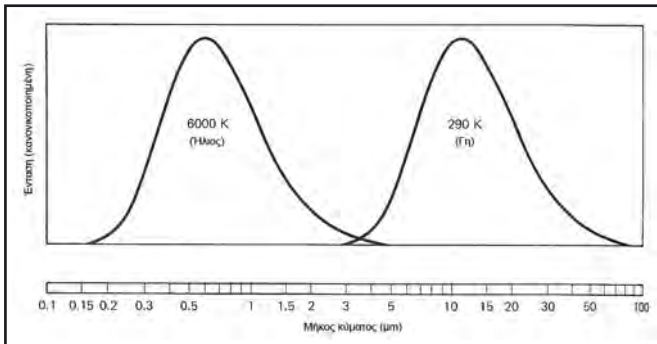
- 1.** Τα δύο φαινόμενα εκδηλώνονται σε διαφορετικά στρώματα του ατμοσφαιρικού αέρα: Διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα, σχηματισμός και καταστροφή του όζοντος στη στρατόσφαιρα.
- 2.** Η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου οδηγεί σε θέρμανση της τροπόσφαιρας, ενώ η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος οδηγεί σε ψύξη της στρατόσφαιρας.
- 3.** Οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η προέλευση των αντίστοιχων ακτινοβολιών που είναι υπεύθυνες για το κάθε ένα από τα φαινόμενα είναι διαφορετικές: υπέρυθρη γήινη θερμική ακτινοβολία για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπεριώδης ακτινοβολία για την ύπαρξη του στρατοσφαιρικού όζοντος.

## ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

### Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες ακτινοβολίας του ήλιου και της γης, θεωρώντας τα ως μέλανα σώματα<sup>15</sup> με θερμοκρασίες  $6.000^{\circ}\text{K}$  και  $290^{\circ}\text{K}$  αντίστοιχα. Παρατηρείστε από το σχήμα ότι το φάσμα εκπομπής του ήλιου έχει ένα μέγιστο στα  $0,5\ \mu\text{m}$  στην περιοχή του ορατού, ενώ η γη εκπέμπει στην περιοχή του υπερέυθρου, με μέγιστο στα  $10,1\ \mu\text{m}$ . Οι δύο καμπύλες που παρουσιάζονται στο σχήμα είναι σαφώς διαχωρισμένες ως προς τις περιοχές του φάσματος και παρουσιάζουν μικρή αλληλεπίδραση. Μπορούμε, επομένως, να μιλάμε για την ηλιακή ακτινοβολία χαρακτηρίζοντάς την ως ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, και για τη γήινη χαρακτηρίζοντάς την ως ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος ή θερμική ακτινοβολία.

### Καμπύλες εκπομπής ακτινοβολίας από τον ήλιο και τη γη



[Πηγή: Masters G. M., 1991. *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall]

15. Μέλαν σώμα είναι αυτό που απορροφά το σύνολο της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό και εκπέμπει ακτινοβολία στο μέγιστο δυνατό ρυθμό από κάθε άλλο σώμα στην ίδια θερμοκρασία και στις ίδιες διαστάσεις

Στην περιοχή του ορατού, η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο φθάνει στη γη σχεδόν ανεπηρέαστη από τις απορροφήσεις των ατμοσφαιρικών αερίων. Στην περιοχή του υπέρυθρου, όπου αντιστοιχεί η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης, αρχίζουν να παρατηρούνται απορροφήσεις από πέντε συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα:

- τους υδρατμούς
- το διοξείδιο του άνθρακα
- το όζον
- το μεθάνιο
- το υποξείδιο του αζώτου

Αποτέλεσμα της απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τους υδρατμούς (νέφη) και τα αέρια αυτά είναι η δέσμευση θερμότητας κοντά στην επιφάνεια της γης και η διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης, σε τιμή κατά  $35^{\circ}\text{C}$  μεγαλύτερη από αυτήν που θα είχε ο αέρας αν έλειπαν από την ατμόσφαιρα τα αέρια αυτά. Αυτό σημαίνει ότι αν έλειπαν από τη γήινη ατμόσφαιρα οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και το όζον, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν  $-18^{\circ}\text{C}$ ! Το φαινόμενο της απορρόφησης της γήινης υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα αέρια αυτά ονομάζεται **φαινόμενο του θερμοκηπίου** και είναι ένα φυσικό φαινόμενο χάρη στο οποίο εξασφαλίζεται η ύπαρξη και λειτουργία των οικοσυστημάτων του πλανήτη. Τα αέρια τα οποία απορροφούν στο υπέρυθρο, δηλαδή σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από  $4\ \mu\text{m}$ , ονομάζονται **αέρια του θερμοκηπίου**. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι τα αέρια του θερμοκηπίου δρουν ακριβώς όπως το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο. Το γυαλί αφήνει εύκολα να διέλθει στο εσωτερικό του θερμοκηπίου η ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος που προέρχεται από τον ήλιο, και είναι μη διαπερατό από τις ακτινοβολίες μεγαλύτερου μήκους κύματος που εκπέμπονται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Έτσι, αυτή η ακτινοβολία παγιδεύεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με το εξωτερικό του περιβάλλον.

## Η κλιματική αλλαγή

Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε τροφή και αγαθά, η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας και οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για παραγωγή ενέργειας αποτελούν τα κύρια χαρακτηριστικά του σύγχρονου κόσμου. Όπως όλοι γνωρίζουμε, στην ατμόσφαιρα απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες αερίων που ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ως **κλιματική αλλαγή** νοείται η αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος η οποία μπορεί να ταυτοποιηθεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικά τεστ) από αλλαγές στη μέση κατάσταση και/ή στη μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών παραμέτρων-ιδιοτήτων του και οι οποίες διατηρούνται για εκτεταμένη περίοδο τυπικά για δεκαετίες ή και περισσότερο. Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε κάθε αλλαγή του κλίματος που παρατηρείται χρονικά, είτε αυτή οφείλεται σε φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή - **IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change** - είναι ο οργανισμός που ηγείται των εκτιμήσεων για την κλιματική αλλαγή. Ιδρύθηκε από το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών: United Nations Environmental Programme (UNEP) και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό: World Meteorological Organization (WMO), με στόχο να παρέχει στην παγκόσμια κοινότητα μια ξεκάθαρη επιστημονική άποψη της σημερινής κατάστασης της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών και κοινωνικο-οικονομικών συνεπειών της. Το IPCC είναι μία επιστημονική επιτροπή. Αξιολογεί όλη την πρόσφατη επιστημονική, τεχνική και κοινωνικο-οικονομική πληροφορία η οποία παράγεται παγκόσμια και σχετίζεται με την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής. Χιλιάδες επιστήμονες από

όλο τον κόσμο συνεισφέρουν εθελοντικά στις εργασίες του IPCC. Λόγω της επιστημονικής και διακυβερνητικής του φύσης, το IPCC ενσωματώνει μία μοναδική ευκαιρία να παρέχει εμπειριστατωμένη και ισορροπημένη επιστημονική πληροφορία στους μηχανισμούς λήψης αποφάσεων. Η τελευταία επίσημη έκθεση εκδόθηκε από το IPCC το 2007 (Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report) και παρουσιάζει τη σημερινή κατάσταση με αρκετές λεπτομέρειες.

Η αύξηση της θερμοκρασίας και η θέρμανση του κλιματικού συστήματος είναι σαφείς, καθώς είναι, πλέον, προφανείς από τις παρατηρήσεις της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του αέρα και των ωκεανών, την ευρέως διαδεδομένη τήξη των παγετών και του χιονιού και την ανύψωση της μέσης στάθμης των θαλάσσιων. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι μεταβολές στη θερμοκρασία, στη στάθμη της θάλασσας και στην κάλυψη με χιόνι για το Βόρειο Ημισφαίριο<sup>16</sup>.

Τα έντεκα χρόνια από το 1995 ως το 2006 κατατάσσονται μεταξύ των θερμότερων που έχουν καταγραφεί από το 1850. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, οι αυξήσεις της στάθμης της θάλασσας ακολουθούν την αύξηση της θερμοκρασίας. Η μέση στάθμη αυξήθηκε με ρυθμό 1,8 mm το χρόνο μεταξύ 1961 και 2003, και με μέσο ρυθμό περίπου 3,1 mm το χρόνο μεταξύ 1993 και 2003. Από το 1993, η θερμική διαστολή των ωκεανών συνεισέφερε κατά περίπου 57% στο άθροισμα των μεμονωμένων συνεισφορών στην ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, με μειώσεις των παγετώνων οι

**16.** IPCC, *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report*. Η έκταση και η ποσότητα των πληροφοριών και των στοιχείων που δίνονται στην αναφορά-βιβλίο: *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report* είναι εντυπωσιακή. Παραθέτουμε ενδεικτικά, στη συνέχεια, πολύ λίγα άλλα εντυπωσιακά στοιχεία. Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται ειδικότερα έχει την ευχέρεια να προσεγγίσει τις πληροφορίες που έχουν μεγαλύτερη εξειδίκευση και περισσότερες λεπτομέρειες ακόμα και από το διαδίκτυο.

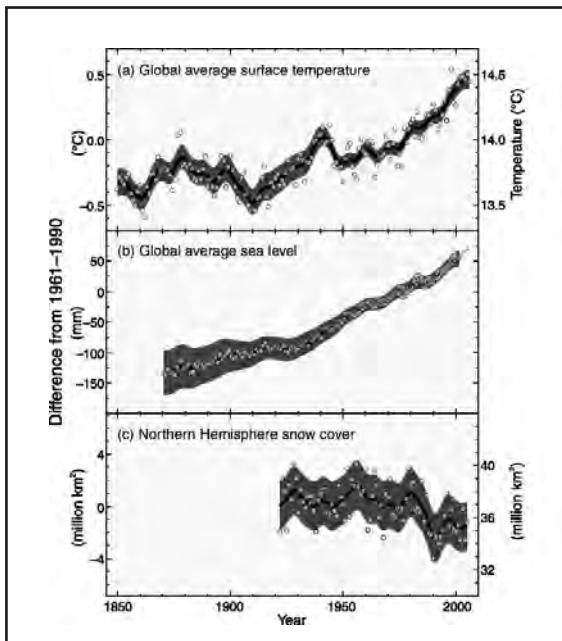


οποίες συνεισέφεραν κατά 28% και απώλειες από τα πολιτικά παγόβουνα που συνεισφέρουν στο υπόλοιπο ποσοστό. Από το 1993 ως το 2003, το άθροισμα αυτών των συνεισφορών είναι σε συμφωνία με την απευθείας παρατηρούμενη συνολική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών.

Στο σχήμα, επίσης, είναι εμφανές ότι οι παρατηρημένες μειώσεις των εκτάσεων που καλύπτονται με χιόνι και των παγετώνων ακολουθούν επίσης τη γενική αύξηση της θερμοκρασίας.

Μεταβολές σε:

- (a) μέση θερμοκρασία αέρα στην επιφάνεια της γης,
- (b) μέση στάθμη της θάλασσας και (c) κάλυψη με χιόνι των περιοχών του Β. Ημισφαιρίου. Οι σκιασμένες περιοχές είναι τα εκτιμηθέντα διαστήματα αβεβαιότητας



(Πηγή: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report, <http://www.ipcc.ch>)

Σε ηπειρωτική, περιοχική και κλίμακα θεκάνης ωκεανού, ήδη έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμες αλληλαγές σε άλλες παραμέτρους του κλίματος, όπως στις βροχοπτώσεις. Οι βροχοπτώσεις εμφανίζονται σημαντικά αυξημένες στις ανατολικές περιοχές της Βόρειας και Νότιας Αμερικής, στη Βόρεια Ευρώπη και στη Βόρεια και Κεντρική Ασία, ενώ μειώνονται στη Μεσόγειο, στη Ν. Αφρική και στη Ν. Ασία.

Η συχνότητα και/ή η ένταση κάποιων ακραίων καιρικών φαινομένων έχουν αλλιάξει τα τελευταία 50 χρόνια, όπως:

- Οι κρύες ημέρες και νύχτες είναι λιγότερο συχνές, και οι ζεστές ημέρες και νύχτες συχνότερες για πολλές περιοχές.
- Η συχνότητα των έντονων βροχοπτώσεων ή η αναλογία των έντονων βροχοπτώσεων ως προς τη συνολική βροχόπτωση έχει αυξηθεί για πολλές περιοχές.
- Οι παρατηρήσεις δείχνουν σαφώς αύξηση στην ένταση των τροπικών κυκλώνων στο Β. Ατλαντικό κ.λπ.

## Τα αέρια του θερμοκηπίου

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τα αέρια του θερμοκηπίου, τις πηγές προέλευσής τους, την εξέλιξη των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεών τους και τη σχετική σπουδαιότητά τους ως προς την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

### Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από τους φυτικούς οργανισμούς μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και εκπέμπεται απ' αυτούς μέσω της αναπνοής. Η ατμόσφαιρα προμηθεύει τους ωκεανούς με σημαντικότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Η διάλυση του διοξειδίου του άνθρακα στο θαλασσινό νερό αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό απομάκρυνσής του από την ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα, μέσω βιο-

γεωχημικών μηχανισμών, φθάνει τελικά σε μεγάλα βάθη, όπου καθιζάνει στον πυθμένα ως ανθρακικό ασβέστιο. Η στήλη των 100 πρώτων μέτρων του θαλασσινού νερού, όμως, αναμιγνύεται με πολύ αργούς ρυθμούς με τα βαθύτερα στρώματα. Λόγω αυτής της αργής ανάμιξης των νερών των ωκεανών, παρότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται τελικά στο θαλασσινό νερό, ο απαιτούμενος χρόνος είναι πολύ μεγάλος, και, έτσι, το διοξείδιο του άνθρακα, εφόσον εκπέμπεται στον αέρα με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς, εξακολουθεί να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα. Ο μέσος χρόνος παραμονής του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εκτιμάται σε 100 χρόνια περίπου!

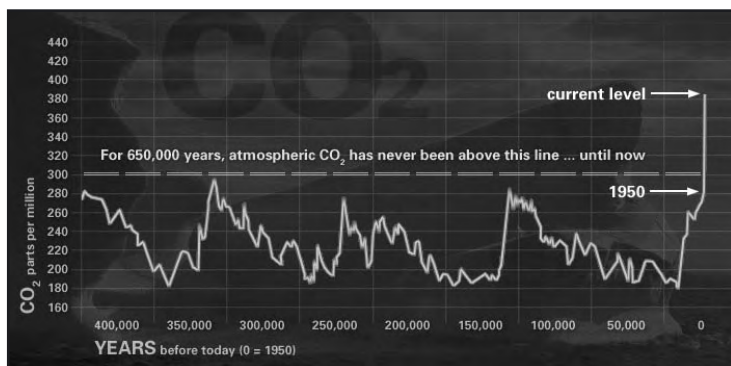
Τα ορυκτά καύσιμα - γαιάνθρακες, πετρέλαιο και φυσικό αέριο - που χρειάστηκαν εκατοντάδες αιώνες για να σχηματιστούν, τείνουν να εξαντληθούν κατά τη διάρκεια μόλις ενός αιώνα. Η διαταραχή αυτή στον κύκλο του άνθρακα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, οδήγησε σε συνεχώς αυξανόμενες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το 88% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, και το υπόλοιπο αντιστοιχεί σε παραγωγή ενέργειας από πυρηνικά καύσιμα και υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η παγκόσμια εκπεμπόμενη ετήσια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα φθάνει σήμερα τα 5.500 εκατομμύρια τόνους άνθρακα, με τις Ηνωμένες Πολιτείες να εκπέμπουν περίπου το 22% του συνολικά εκπεμπόμενου από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα παρουσιάζουν αισθητά αυξημένες τιμές κατά την τελευταία 50ετία, με σημερινό επίπεδο τα 370-380 ppm.

Οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπονται από την καύση των γαιανθράκων είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που εκπέμπονται από την καύση του πετρελαίου, και αυτές πολύ μεγαλύτερες από τις εκπεμπόμενες από την καύση του φυσικού αερίου.

Η δεύτερη σημαντικότερη αιτία αύξησης των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η καταστροφή των δασών και η μετατροπή μεγάλων δασικών εκτάσεων του πλανήτη σε αγροτικές. Η καύση των δασών απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, η έλλειψη των δασικών αυτών εκτάσεων οδηγεί σε σημαντική έλλειψη εστιών δέσμευσης ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα για τη φωτοσύνθεση. Η μεγαλύτερη απώλεια δασικών περιοχών από άποψη έκτασης αντιστοιχεί στη Βραζιλία, ενώ ο μεγαλύτερος ετήσιος ρυθμός απώλειας δασικών εκτάσεων αντιστοιχεί στην Νοτιοανατολική Ασία (1,6%) και στην Κεντρική Αμερική (1,5%) (ετήσιος ρυθμός απώλειας δασικών εκτάσεων για τη Βραζιλία 0,6%). Από τις σημερινές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, περισσότερο από το 1/4 των εκπομπών οφείλεται στην καύση και απογύμνωση των δασικών εκτάσεων, και περίπου τα 3/4 στην καύση των ορυκτών καυσίμων.

### Εξέλιξη των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα



(Πηγή: <http://climate.nasa.gov/evidence/>)

## Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)

Το μεθάνιο είναι ένα αέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια **βακτηριακών διεργασιών** κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Η αύξηση των ατμοσφαιρικών του συγκεντρώσεων κατά τους δύο τελευταίους αιώνες συνδέεται άμεσα με την αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και τις συνεπαγόμενες αυξημένες ανάγκες για τροφή.

Το μεθάνιο παράγεται, κυρίως, κατά την αναερόβια αποσύνθεση της φυτικής βιομάζας. Η ύπαρξη νερού δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τις διεργασίες αυτές. Έτσι, μεγάλες ποσότητες μεθανίου εκλύονται από τους ορυζώνες, τους φυσικούς υγροτόπους και τα έλη.

Κατά την εξόρυξη, άντληση και μεταφορά των ορυκτών καυσίμων εκπέμπεται μεθάνιο στην ατμόσφαιρα. Το φυσικό αέριο, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, όταν διαρρέει από σωληνώσεις μεταφοράς του, αποτελεί την κύρια πηγή μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Τα καύσιμα που προέρχονται από φυτική βιομάζα εκπέμπουν μεθάνιο κατά την καύση τους.

Κατά τη διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης των απορριμμάτων στις χωματερές παράγονται σημαντικές ποσότητες μεθανίου.

Άλλη σημαντική πηγή μεθανίου είναι το πεπτικό σύστημα των ζώων κατά τη χώνευση της κυτταρίνης. Η αύξηση του αριθμού των εκτρεφόμενων ζώων, για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών, οδηγεί σε αύξηση του εκπεμπόμενου μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Ο μέσος χρόνος παραμονής του μεθανίου στην τροπόσφαιρα είναι περίπου 15 χρόνια.

Τα αρχεία των πολιτικών πάγων μάς πληροφορούν ότι η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του μεθανίου έχει σχεδόν διπλασιαστεί από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, από 0,75 ppm πριν το 1750, σε 1,7 ppm κατά τη δεκαετία του 1980. Σήμερα, ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα εκτιμάται σε 1-2% το χρόνο.

Η μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (360 ppm) και μεθανίου (1,7 ppm) στην ατμόσφαιρα, καθώς και η σημαντική διαφορά που υπάρχει στον ετήσιο ρυθμό αύξησης των συγκεντρώσεών τους - το διοξείδιο του άνθρακα έχει ετήσιο ρυθμό αύξησης συγκέντρωσης κατά περίπου 80% μεγαλύτερο από αυτόν που αντιστοιχεί στο μεθάνιο - ερμηνεύουν το γεγονός ότι το διοξείδιο του άνθρακα παραμένει το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου.

### Πρωτοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O)

Το πρωτοξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O), ή διάζωτο οξυγόνο<sup>17</sup>, είναι παραπροϊόν της βιολογικής διεργασίας της νιτροποίησης κάτω από αναερόβιες συνθήκες.

Κύρια ανθρωπογενής πηγή πρωτοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα αποτελούν τα εδάφη στα οποία προστίθενται **λιπάσματα**. Η αυξημένη χρήση λιπασμάτων στις αγροτικές δραστηριότητες έχει οδηγήσει σε αύξηση του ατμοσφαιρικού πρωτοξειδίου του αζώτου. Έχει, επίσης, βρεθεί ότι η έκλυση πρωτοξειδίου του αζώτου είναι σημαντικότερη τα πρώτα χρόνια μετά από την **καύση δασικών εκτάσεων**.

Άλλη πηγή εκπομπής πρωτοξειδίου του αζώτου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων τα οποία περιέχουν αζωτούχες ενώσεις.

Δεν υπάρχει κανένας μηχανισμός ή διεργασία η οποία να απομακρύνει το πρωτοξείδιο του αζώτου από την τροπόσφαιρα. Ο χρόνος παραμονής του είναι πολύ μεγάλος, της τάξης των 150 χρόνων. Το πρωτοξείδιο του αζώτου μεταφέρεται με πολύ αργούς ρυθμούς στη στρατόσφαιρα, όπου φωτολύεται από υπεριώδη ακτινοβολία. Η φωτόλυσή του συνδέεται με την καταστροφή του στρατο-

σφαιρικού όζοντος. Η επιθυμητή απομάκρυνση του πρωτοξειδίου του азώτου από την τροπόσφαιρα έχει το ανεπιθύμητο αποτέλεσμα της συμμετοχής του στους μηχανισμούς καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Η συγκέντρωση του πρωτοξειδίου του азώτου στην ατμόσφαιρα παρέμεινε σταθερή μέχρι πριν από 300 περίπου χρόνια. Από τότε, αυξάνεται μέχρι σήμερα, με συνολικό ρυθμό 9% περίπου. Σήμερα, η ατμοσφαιρική του συγκέντρωση είναι 0,3 ppm και ο ετήσιος ρυθμός αύξησής του εκτιμάται σε 0,25%.

### Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

**Οι χλωροφθοράνθρακες δεν έχουν καμία φυσική πηγή προέλευσης στην ατμόσφαιρα.** Παρουσιάστηκαν στην ατμόσφαιρα το 1930 και, έκτοτε, έχουν απελευθερωθεί μεγάλες ποσότητες από τα μόρια αυτά, που χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλους χρόνους παραμονής (μεγαλύτερους των 100 ετών) στην τροπόσφαιρα. Η χημική τους αδράνεια, η μη διαλυτότητά τους στο νερό και το γεγονός ότι η μόνη οδός μείωσης της ατμοσφαιρικής τους συγκέντρωσης είναι η φωτόλυσή τους από ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (διαθέσιμης σχεδόν αποκλειστικά στη στρατόσφαιρα), ερμηνεύουν αυτούς τους μεγάλους χρόνους παραμονής.

Οι χλωροφθοράνθρακες απορροφούν υπέρυθη ακτινοβολία στην περιοχή του ατμοσφαιρικού «παραθύρου», δηλαδή σε μήκη κύματος μεταξύ 7 και 13 μm. Κάθε μόριο χλωροφθοράνθρακα είναι ικανό να απορροφήσει θερμότητα όσο δεκάδες χιλιάδες άτομα διοξειδίου του άνθρακα. Οι ιδιότητές τους παρουσιάζονται στην παράγραφο περί της μείωσης της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα.

## Σύγκριση του σχετικού ρόλου των αερίων του θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου, με τις σημερινές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις τους, το ρυθμό αύξησής τους και το ποσοστό συμμετοχής τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Φαίνεται ότι το σύνολο των άλλων αερίων, πλην του διοξειδίου του άνθρακα, έχει ίση, περίπου, συμμετοχή (43%) με το διοξείδιο του άνθρακα (57%) στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### ΤΑ ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΗΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

ΑΕΡΙΟ	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (ppm)	ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ (%)	ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ (%)
CO <sub>2</sub>	370-380	0,4-0,6	1	57
CFCs	0,00225	5	15.000	25
CH <sub>4</sub>	1,675	1	25	12
N <sub>2</sub> O	0,31	0,2	230	6

(Πηγή: Masters G. M., 1991. *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, p. 389)

## Η αντιμετώπιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την Ελλάδα

Σύμφωνα με την απόφαση 2002/358/ΕΚ για την έγκριση εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του πρωτοκόλλου του Κιότο και την από κοινού τήρηση των σχετικών δεσμεύσεων, η Ελλάδα δεσμεύεται για τον περιορισμό της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008-2012 στο 25%, σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Ως έτος βάσης για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O λαμβάνεται το 1990, ενώ για τα αέρια που περιέχουν φθόριο (F-gases, PFCs, HFCs, SF<sub>6</sub>) λαμβάνεται το 1995 (Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την Περίοδο 2008-2012). Ο στόχος περιορισμού των εκπομπών σε ετήσια βάση για την πενταετία 2008-2012 ανέρχεται σε 138.817.590 t CO<sub>2</sub> eq.



Οι υπόχρεες εγκαταστάσεις για προσδιορισμό συνολικής ποσότητας δικαιωμάτων στη χώρα μας ανέρχονται σε 150. Αυτές μπορούν να θεωρηθούν και οι κύριες βιομηχανικές πηγές εκπομπών για τη χώρα. Σε αυτές περιλαμβάνονται: 32 εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, 21 λοιπές εγκαταστάσεις καύσης, 4 διυλιστήρια, 1 εγκατάσταση φρύξης μεταλλευμάτων, 5 εγκαταστάσεις παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, 8 εγκαταστάσεις παραγωγής κλίνκερ τιμέντου, 20 ασβεστοποιίες, 1 υαλοργία, 44 εγκαταστάσεις παραγωγής κεραμικών και 15 εγκαταστάσεις παραγωγής χαρτιού και χαρτονιού (Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την Περίοδο 2008-2012).

Οι μέσες προβλεπόμενες ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα δραστηριότητας σε Mt CO<sub>2</sub> eq παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

#### ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2008-2012

ΠΗΓΗΣ	ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2008-12
Παραγωγή ενέργειας	67,83
Μεταφορές	24,23
Ενεργειακή κατανάλωση στα κτίρια και στη γεωργία	15,65
Βιομηχανικές διεργασίες	15,17
Γεωργία	12,27
Απόβλητα	2,44
Ενεργειακή κατανάλωση στη βιομηχανία/ λοιποί τομείς	14,80
<b>Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου</b>	<b>152,40</b>

Από τον πίνακα αυτόν, φαίνεται ότι η **παραγωγή ενέργειας** συνεισφέρει κατά το μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ ακολουθούν **οι μεταφορές**. Συνεισφορές της ίδιας τάξης παρατηρούνται για τέσσερις σημαντικούς τομείς:

- την ενεργειακή κατανάλωση στα κτίρια και στη γεωργία,
- τις βιομηχανικές διεργασίες,
- την ενεργειακή κατανάλωση στη βιομηχανία και
- τη γεωργία.

Η κατανομή των δικαιωμάτων σε επίπεδο δραστηριότητας και εγκατάστασης παρουσιάζεται στο Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την Περίοδο 2008-2012.

## 2.6.2

### Η ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

#### Η στοιβάδα του όζοντος

Το δεύτερο, κατά σειρά ύψους, στρώμα της ατμόσφαιρας, η στρατόσφαιρα (κυμαινόμενη σε ύψη από 15 έως 50 km περίπου), έχει δύο κύρια και αλληλοεξαρτώμενα χαρακτηριστικά:

- Τη θετική κλίση της καμπύλης μεταβολής της θερμοκρασίας ως συνάρτηση του ύψους.
- «Τη στοιβάδα του όζοντος», η οποία αποτελεί το φυσικό προστατευτικό στρώμα του πλανήτη από την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία (Ultraviolet radiation, UV). Χωρίς την ύπαρξη του προστατευτικού στρώματος του όζοντος, δεν θα ήταν δυνατή η ύπαρξη ζωής στον πλανήτη.

Η μεγαλύτερη ποσότητα του στρατοσφαιρικού όζοντος εκδηλώνεται στη στρατόσφαιρα μεταξύ 15 και 35 km, δηλαδή μεταξύ του κατώτερου και του μέσου τμήματος της στρατόσφαιρας. Η περιοχή αυτή είναι γνωστή ως η **στοιβάδα του όζοντος (the ozone layer)**.

Οι ποσότητες του όζοντος στη στρατόσφαιρα έχει επικρατήσει διε-

θνώς να εκφράζονται σε μονάδες DOBSON (Dobson Units, DU\*). Το πάχος του στρώματος του όζοντος στη στρατόσφαιρα μειώνεται φυσιολογικά, από τις πολικές περιοχές προς τον ισημερινό. Φυσιολογικές ποσότητες όζοντος στην εύκρατη ζώνη αντιστοιχούν σε 350 DU περίπου, ενώ στις τροπικές περιοχές οι ποσότητες του όζοντος είναι περίπου 250 DU, και στις πολικές περιοχές φθάνουν τις 450 DU. Αυτές οι διαφορές οφείλονται, κυρίως, στο ότι υπάρχει μεταφορά όζοντος από τις τροπικές προς τις πολικές περιοχές, λόγω της κυκλοφορίας ανέμων στη στρατόσφαιρα. Υπάρχουν επίσης φυσιολογικές εποχιακές διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων του όζοντος.

### **Μόρια που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον**

Ένα από τα σημαντικότερα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα - συνέπεια της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας από τις ανθρωπίνες δραστηριότητες - είναι η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος. Η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα αποδίδεται στην κατάλυση της αντίδρασης διάσπασης του όζοντος από παράγωγα ενώσεων που, κατά τη φωτολυτική τους διάσπαση, έχουν την ιδιότητα να προμηθεύουν τη στρατόσφαιρα με ελεύθερες ρίζες. Οι ελεύθερες αυτές ρίζες ενεργούν ως καταλύτες, με αποτέλεσμα τη διαταραχή της στάσιμης κατάστασης η οποία επέρχεται μεταξύ των μηχανισμών σχηματισμού και μη καταλυτικής καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Ο κυριότερος εκπρόσωπος των ελευθέρων ριζών που είναι υπεύθυνες για την καταλυτική καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος είναι το ατομικό χλώριο (Cl<sup>·</sup>). Ποιες είναι, όμως, οι πιθανές πηγές ατομικού χλωρίου στη στρατόσφαιρα;

\* Μία μονάδα Dobson (Dobson Unit, DU) ισοδυναμεί με στρώμα καθαρού όζοντος πάχους 0,01 mm. Η πυκνότητά του θεωρείται σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, δηλαδή στο επίπεδο της θάλασσας με πίεση 1 Atm και θερμοκρασία 25 °C

Οι ενώσεις που μπορούν να προμηθεύσουν ατομικό χλώριο στη στρατόσφαιρα πρέπει, αρχικά, να μεταφερθούν από τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, μέσω, δηλαδή, της τροπόσφαιρας. Ένα τέτοιο μόριο, το οποίο ανέκαθεν προμήθευε τη στρατόσφαιρα με ατομικό χλώριο, είναι το χλωρομεθάνιο ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ). Αυτό διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια των ωκεανών, όπου παράγεται λόγω της αλληλεπίδρασης του ιοντικού χλωρίου του θαλασσινού νερού με την αποσυντιθέμενη φυτική βιομάζα. Το χλωρομεθάνιο φθάνει στη στρατόσφαιρα με πολύ αργό ρυθμό, επειδή δεν ευνοείται η ανάμιξη τροποσφαιρικού και στρατοσφαιρικού αέρα. Η επιφάνεια των ωκεανών, επομένως, είναι μία φυσική πηγή χλωρομεθανίου ικανού να φθάσει μέχρι τη στρατόσφαιρα.

Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η ποσότητα του ατομικού χλωρίου στη στρατόσφαιρα, που προέρχεται από το χλωρομεθάνιο, έχει επισκιαστεί από μεγάλες ποσότητες ατομικού χλωρίου. Η σημερινή συγκέντρωση του στρατοσφαιρικού χλωρίου είναι περίπου 3,5 ppb (parts per billion=μέρη ανά δισεκατομμύριο), έξι φορές, δηλαδή, μεγαλύτερη της φυσιολογικής (προερχόμενης από φυσικές πηγές) συγκέντρωσης χλωρίου, που εκτιμάται σε 0,6 ppb. Η αύξηση αυτή των συγκεντρώσεων χλωρίου στη στρατόσφαιρα προέρχεται από συνθετικά βιομηχανικά αέρια τα οποία διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα είτε κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους είτε της χρήσης τους, και χαρακτηρίζονται από μεγάλη πτητικότητα, χημική αδράνεια και αδιαλυτότητα στο νερό. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτών των αερίων είναι οι **χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbons)**. Για τα μόρια αυτά έχει επικρατήσει διεθνώς η συντετμημένη ονομασία CFCs. Η εταιρεία παραγωγής χημικών Du Pont έδωσε στις ενώσεις αυτές την εμπορική ονομασία Freon, η οποία απαντάται συχνά ως ανεπίσημη ονομασία των CFCs ακόμα και στην επιστημονική βιβλιογραφία. Οι ενώσεις αυτές αποτελούνται από χλώριο, φθόριο και άνθρακα, όπως δείχνει και η ονομασία τους. Παράχθηκαν για πρώτη φορά το 1928 και έκτοτε χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα. Κατά τη δεκαετία του 1980, εκτιμάται ότι απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα 1.000.000 τόνοι CFCs.

Τα CFCs χαρακτηρίζονται από εξαιρετικές ιδιότητες, χάρη στις οποίες κρίθηκαν κατάλληλα για πολλές εφαρμογές. Οι εξαιρετικές ιδιότητες συμπύκνωσής τους σε συνδυασμό με τη μη τοξικότητα, τη μη αναφλεξιμότητα και την εξαιρετική χημική τους αδράνεια, τις έκαναν κατάλληλες για ποικίλλες χρήσεις, όπως:

- ψυκτικά μέσα σε ψυγεία και κλιματιστικά,
- διαλύτες καθαρισμού ηλεκτρονικών πλακών,
- προωθητικά αέρια σε κάθε είδους εμπορικά προϊόντα που κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μορφή σπρέυ (π.χ. καλλυντικά, αποσμητικά κ.λπ.),
- την παρασκευή μονωτικών και άλλων πλαστικών υλικών τα οποία είτε εφαρμόζονται με τη μορφή αφρού είτε είναι επιθυμητή τελική μορφή του προϊόντος τύπου αφρολέξ.

Ο παρακάτω Πίνακας συνοψίζει τους τρεις κυριότερους εκπροσώπους των χλωροφθορανθράκων, το συνήθη συμβολισμό τους, τις κυριότερες χρήσεις τους και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Στην τελευταία στήλη του Πίνακα δίνεται ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, ο οποίος φαίνεται ότι είναι πολύ μεγάλος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρακτικά, λόγω της χημικής τους αδράνειας και της μη διαλυτότητας στο νερό, δεν υπάρχει φυσική διεργασία απομάκρυνσής τους από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Και οι τρεις ενώσεις ανέρχονται από την τροπόσφαιρα στη στρατόσφαιρα σε χρονικό διάστημα μερικών ετών από τη στιγμή της εκπομπής τους.

Ο τετραχλωράνθρακας χρησιμοποιείται εμπορικά ως διαλύτης και ως πρώτη ύλη στην παραγωγή CFCs. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, στο στεγνό καθάρισμα των ρούχων, αλλά λόγω της τοξικότητάς του καταργήθηκε, πρώτα στις ΗΠΑ και στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Ο τετραχλωράνθρακας υπολογίζεται ότι ευθύνεται για το 8% των ατόμων του χλωρίου που συμμετέχουν στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Το μεθυλοβρωμίδιο χρησιμοποιείται κυρίως σε αγροτικές εφαρμογές, μπορεί να συνεισφέρει στην καταστροφή του στρατοσφαι-

ρικού όζοντος, αλλά λόγω του μικρού χρόνου παραμονής του στην ατμόσφαιρα - περίπου δύο χρόνια - οι επιπτώσεις του στο στρατοσφαιρικό όζον είναι ευκολότερα ελέγξιμες.

Οι βρωμοφθοράνθρακες και οι βρωμοχλωροφθοράνθρακες συγκρίνονται άμεσα με τους χλωροφθοράνθρακες για το ρόλο που παίζουν στην καταλυτική καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και χρησιμοποιούνται κυρίως ως υλικό πυρόσβεσης. Το βρώμιο που προκύπτει από τη φωτολυτική διάσπαση των ενώσεων αυτών είναι υπεύθυνο για το 5% περίπου της παρατηρούμενης μείωσης του όζοντος.

### Οι πιο διαδεδομένοι χλωροφθοράνθρακες (CFCs)

ΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΚΥΡΙΑ ΧΡΗΣΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ (ΕΤΗ)
$\text{CCl}_3\text{F}$	CFC-11	Προωθητικό σπρέι, παραγωγή αφρωδών υλικών	76
$\text{CCl}_2\text{F}_2$	CFC-12	Ψυγεία, κλιματιστικά	139
$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$ (halons)	CFC-13	Διαλύτες για καθάρισμα ηλεκτρονικών μικροκυκλωμάτων	92

### Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος στις πολικές περιοχές

Το 1985, οι επιστήμονες ανακάλυψαν για πρώτη φορά ότι το στρατοσφαιρικό όζον στην Ανταρκτική έχει μειωθεί σε ποσοστό περίπου 50%<sup>18</sup>! Παρατήρησαν, επίσης, ότι το φαινόμενο είναι περιοδικό και διαρκεί για δύο περίπου μήνες κάθε χρόνο, από το Σεπτέμβριο μέχρι τις αρχές Νοεμβρίου. Οι μήνες αυτοί αντιστοιχούν στην

εποχή της άνοιξης για το Νότιο Πόλο. Η σημαντικότερη αυτή μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος ονομάστηκε, χαρακτηριστικά, «τρύπα του όζοντος» (ozone hole). Η ανακάλυψη του φαινομένου αποτελεί σπάνιο και σημαντικότερο επιστημονικό επίτευγμα. Με την ανακάλυψή του αποδείχτηκε ότι η εμφάνιση ενός περιβαλλοντικού προβλήματος πλανητικών διαστάσεων δεν είναι πλέον απλά πιθανή, αλλά αποτελεί υπαρκτό περιβαλλοντικό πρόβλημα των τελευταίων δεκαετιών του 20ού αιώνα.

Η ερμηνεία του φαινομένου δόθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980, μετά από εκτεταμένες έρευνες της επιστημονικής κοινότητας.

Κατ' αντιστοιχία, στην Αρκτική, στο Βόρειο Πόλο, παρατηρείται μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος της τάξης του 10-20%, πολύ μικρότερη απ' αυτήν που παρατηρείται στην Ανταρκτική (40-60%). Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο Ημισφαιρίων παρατηρείται διότι οι θερμοκρασίες της στρατόσφαιρας στην Αρκτική δεν φθάνουν τα χαμηλά επίπεδα που παρατηρούνται στην Ανταρκτική, ιδιαίτερα κατά την άνοιξη. Επιπλέον, οι χαμηλές θερμοκρασίες στη στρατόσφαιρα της Αρκτικής δεν διαρκούν για τόσο μεγάλα χρονικά διαστήματα όσο διαρκούν στην Ανταρκτική. Από την επιστημονική κοινότητα εκφράζεται, όμως, η επιφύλαξη για μία μελλοντική ενίσχυση του φαινομένου της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος πάνω από το Βόρειο Πόλο ιδιαίτερα, λόγω των συνεπειών που μπορεί να έχουν οι ανθρωπίνες δραστηριότητες στο Βόρειο Ημισφαίριο.

## **Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος στα μέσα γεωγραφικά πλάτη**

Σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, στις μη πολικές περιοχές, η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος είναι πολύ λιγότερο αισθητή απ' ό,τι στους πόλους. Οι σχετικές προβλέψεις αποτελούν αντικείμενο επιστημονικής έρευνας, με κύριο στόχο τις ακριβείς προβλέψεις για τη μελλοντική εξέλιξη του φαινομένου. Η δυσκολία στην ακρίβεια των προβλέψεων έγκειται στο ότι οι μηχανισμοί είναι στην πραγματικότητα πολύ πολύπλοκοι, διότι σ' αυτούς παρεμβάλλονται και άλλα ατμοσφαιρικά μόρια, ελεύθερες ρίζες και ενδεχο-

μένως και σωματίδια. Οι ακριβείς προβλέψεις είναι απαραίτητες, διότι έχουμε μπει ήδη σε μία χρονική περίοδο όπου οι συγκεντρώσεις του χλωρίου στη στρατόσφαιρα πλησιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές που έχουν ποτέ παρατηρηθεί.

## **Επιπτώσεις από τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος**

Οι επιπτώσεις από τη μείωση του προστατευτικού στρώματος του στρατοσφαιρικού όζοντος σχετίζονται με την αύξηση της ποσότητας της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στην τροπόσφαιρα. Η περιοχή του υπεριώδους στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε τρεις υποπεριοχές: UV-C: 220-280 nm, UV-B: 280-320 nm, UV-A: 320-400 nm. Γνωρίζουμε, επίσης, ότι όσο μικρότερο το μήκος κύματος, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια της αντίστοιχης ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία στην περιοχή UV-C είναι πιο επιβλαβής, λόγω της αυξημένης της ενέργειας, και καταστρέφει εύκολα τα κύτταρα που εκτίθενται σ' αυτή. Η ακτινοβολία που αντιστοιχεί στις UV-C δεν φθάνει στην τροπόσφαιρα. Το στρατοσφαιρικό όζον προστατεύει 100% τη ζωή στη γη από την επικίνδυνη ακτινοβολία UV-C.

Από τις ακτινοβολίες στην περιοχή UV-B, αυτές που αντιστοιχούν σε μήκη κύματος μέχρι τα 300 nm εμποδίζονται από το στρώμα του όζοντος, ενώ, όσες αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος εισέρχονται στην τροπόσφαιρα. Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος κατά 1% σημαίνει αύξηση της έντασης των εισερχομένων ακτίνων UV-B ως την επιφάνεια της γης κατά 2%. Αυτή η αύξηση αποτελεί το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα για τον πλανήτη, επειδή είναι επιβλαβής για όλες τις μορφές της ζωής.

Τέλος, οι ακτινοβολίες UV-A δεν απορροφώνται σημαντικά ούτε από το όζον ούτε και από κανένα άλλο συστατικό της ατμόσφαιρας, φθάνουν, μετά από απορρόφηση μικρού ποσοστού τους, στην επιφάνεια της γης, και είναι οι λιγότερο βιολογικά επιβλαβείς.

Η ακτινοβολία UV-B με μήκη κύματος πολύ κοντά στα 300 nm αλληλεπιδρά με τα μόρια του DNA των κυττάρων των οργανισμών,



προκαλώντας αλληλιώσεις. Επιπλέον, το δέρμα παρουσιάζει μία μέγιστη απορρόφηση ακτινοβολίας στα 300 nm, ιδιαίτερα για τους ανθρώπους που έχουν δέρμα ανοικτού χρώματος. Πέρα από τα ηλιακά εγκαύματα, σχεδόν όλοι οι καρκίνοι του δέρματος αποδίδονται σε υπερβολική παρατεταμένη έκθεση σε ακτινοβολία UV-B και, επομένως, η μείωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος έχει ως συνέπεια την αύξηση των παρατηρούμενων καρκίνων του δέρματος. Η χειρότερη μορφή καρκίνου του δέρματος, το κακοήθες μελάνωμα, πιστεύεται ότι οφείλεται στην έκθεση νεαρών, κυρίως, ατόμων με ανοικτό δέρμα σε μεγάλης έντασης ακτινοβολία UV, για μικρά χρονικά διαστήματα.

Επειδή μεσολλαβεί ένα σημαντικό χρονικό διάστημα μεταξύ της έκθεσης στις ακτινοβολίες αυτές και της εκδήλωσης των διάφορων μορφών καρκίνου του δέρματος, δεν μπορούμε να συνδέσουμε άμεσα και με ακρίβεια τη μείωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος με τη συχνότητα αύξησης καρκίνων του δέρματος. Στην Αυστραλία, στην περιοχή Queensland, παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά καρκίνων του δέρματος στο 75% του πληθυσμού. Αυτό αποδόθηκε στο ότι ο πληθυσμός είχε ανοιχτόχρωμο δέρμα και μετέβαλε τις συνθήκες του κατά τις τελευταίες δεκαετίες, αυξάνοντας τη διάρκεια έκθεσής του στον ήλιο αρκετά πριν από την έναρξη της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος. Πάντως, το φαινόμενο αυτό ευαισθητοποίησε τους ανθρώπους σε παγκόσμια κλίμακα ως προς τη διάρκεια έκθεσής τους στον ήλιο και τα λαμβανόμενα, πλέον, προστατευτικά μέτρα. Η πρακτική της παρατεταμένης έκθεσης στον ήλιο μετά από εφαρμογή αντηλιακών που δεσμεύουν τη UV-B αλλά όχι τη UV-A μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των ποσοστών καρκινογένεσης, λόγω της αύξησης της αντοχής του δέρματος στα εγκαύματα, και της χρονικής διάρκειας έκθεσης στον ήλιο.

Επιπλέον, η αυξημένη έκθεση των ματιών στην ακτινοβολία UV-B χωρίς προστατευτικούς φακούς αυξάνει την πιθανότητα παθήσεων καταρράκτη. Τέλος, η παρατεταμένη έκθεση στην ακτινοβολία UV-B οδηγεί σε εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος και καθιστά τον οργανισμό πιο ευάλωτο στις μικροβιακές λοιμώξεις.

Σχετικά με τις επιπτώσεις της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος στους άλλους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα, μπορούμε να αναφέρουμε, ενδεικτικά, ότι η ακτινοβολία UV-B επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης, με πιθανά αρνητικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη των φυτών. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που ζουν στο νερό μέχρι το βάθος των πέντε μέτρων μπορεί να επηρεαστούν από αυξημένη έκθεση σε UV-B, με επακόλουθα αποτελέσματα στις τροφικές αλυσίδες των υδρόβιων οργανισμών των οποίων αποτελούν τη βάση.

### **Μέτρα κατά της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος**

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, απαγορεύτηκε η χρήση των CFCs στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στη Νορβηγία και στη Σουηδία. Το 1987, στο Μόντρεαλ του Καναδά, υπογράφηκε το «**Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ**», υπό την αιγίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών, όπου αποφασίστηκε η μείωση της παγκόσμιας παραγωγής των CFCs κατά 50%. Όσο προόδευε η γνώση και η συλλογή δεδομένων, φαινόταν ξεκάθαρα η αναγκαιότητα λήψης ριζικότερων μέτρων σε παγκόσμια κλίμακα. Στα πλαίσια διεθνούς συμφωνίας στο Λονδίνο το 1990, αποφασίστηκε να σταματήσει η παραγωγή CFCs στις ανεπτυγμένες χώρες μέχρι το 2000 και στις αναπτυσσόμενες μέχρι το 2010.

Στον πρόσφατο **Κανονισμό 2009/1005/ΕΚ** της 16ης Σεπτεμβρίου 2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος, φαίνεται σαφώς η αναγκαιότητά του, καθώς γίνεται αναφορά στο ιστορικό της εξέλιξης των μέτρων και των αποφάσεων που έχουν ληφθεί, αλλιώς και στην παρούσα κατάσταση.

Σύμφωνα με τον παραπάνω κανονισμό, έχει διαπιστωθεί ότι οι συνεχιζόμενες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον προκαλούν σοβαρές ζημιές στη στοιβάδα του όζοντος. Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις μείωσης του ατμοσφαιρικού φορτίου ουσιών που καταστρέφουν το όζον και έχουν παρατηρηθεί ορισμένα πρώτα δείγματα αποκατάστασης του στρατοσφαιρικού όζοντος. Ωστόσο, η στοιβάδα του όζοντος δεν προβλέπεται να αποκατασταθεί στα προ του 1980 επίπεδα συγκέντρωσης πριν από τα μέσα του 21ου αιώνα. Η αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας UV-B εξαιτίας της καταστροφής του όζοντος εξακολουθεί, επομένως, να συνιστά σοβαρή απειλή για την υγεία και το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ληφθούν περαιτέρω αποτελεσματικά μέτρα κατά των αρνητικών επιπτώσεων από τις εκπομπές αυτές, προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος και να αποτραπεί ο κίνδυνος να καθυστερήσει περαιτέρω η αποκατάσταση της στοιβάδας του όζοντος.

Πολλές ουσίες που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος (ΟΚΟ) είναι αέρια του θερμοκηπίου αλλά δεν ελέγχονται από τη σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή και το πρωτόκολλο του Κιότο,

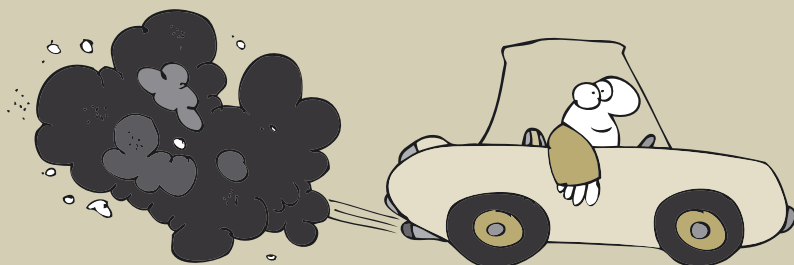
λόγω της παραδοχής που είχε γίνει ότι το πρωτόκολλο θα καταργήσει σταδιακά τις ΟΚΟ. Παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί με το πρωτόκολλο, το έργο της κατάργησης των ΟΚΟ απομένει να ολοκληρωθεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης και ανά τον κόσμο, έχοντας υπόψη, ταυτόχρονα, ότι επί του παρόντος πολλές εναλλακτικές ουσίες εκείνων που καταστρέφουν το όζον έχουν υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο να ελαχιστοποιηθεί και να εξαλειφθεί η παραγωγή και χρήση ΟΚΟ όπου υπάρχουν τεχνικώς εφικτές εναλλακτικές δυνατότητες με χαμηλό δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Μετά τις ανησυχίες που εξέφρασε η Επιτροπή Επιστημονικής Αξιολόγησης, στην έκθεσή της του 2006, σχετικά με την επιταχυνόμενη αύξηση της παραγωγής και κατανάλωσης υδροχλωροφθορανθράκων στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα μέρη του πρωτοκόλλου ενέκριναν, στη 19η συνεδρίασή τους το 2007, την απόφαση ΧΙΧ/6, που προβλέπει επίσπευση του χρονοδιαγράμματος σταδιακής κατάργησης των υδροχλωροφθορανθράκων. Ως επακόλουθο της απόφασης αυτής, η χρονολογία κατάργησης της παραγωγής θα πρέπει να μετατεθεί από το έτος 2025 στο 2020.

Ο κανονισμός ορίζει κανόνες για την παραγωγή, την εισαγωγή, την εξαγωγή, τη διάθεση στην αγορά, τη χρήση, την ανάκτηση, την ανακύκλωση, την ποιοτική αποκατάσταση και την καταστροφή ουσιών που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος, την υποβολή στοιχείων σχετικά με τις ουσίες αυτές και σχετικά με τις εισαγωγές, τις εξαγωγές, τη διάθεση στην αγορά και τη χρήση προϊόντων και εξοπλισμού που περιέχουν τις συγκεκριμένες ουσίες ή εξαρτώνται από αυτές.

# 3

## Κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα





**Ι** ανθρωπογενείς πηγές για τη χώρα μας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: την παραγωγή ενέργειας, τα μέσα μεταφοράς και τη βιομηχανική δραστηριότητα. Στα αστικά κέντρα, μαζί με τις εκπομπές από τις μεταφορές, προστίθενται και αυτές των κεντρικών θερμάνσεων των κτιρίων.

Επιπλέον αυτών των πηγών, οι τοπογεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες καθιστούν τη χώρα μας ευάλωτη σε **δύο επιπλέον μορφές εκπομπών** με ιδιαίτερα επιβαρυντικά αποτελέσματα στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα: Τα επεισόδια εκπομπών και μεταφοράς σωματιδίων από πυρκαγιές και τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής (Σαχάρα). Οι δύο αυτές περιπτώσεις εκπομπών χαρακτηρίζονται από σαφή σποραδικό και εποχιακό χαρακτήρα. Έχουν, όμως, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους, και θεμελιώδεις διαφορές. Μια από τις κύριες διαφορές τους είναι ότι ενώ τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής αποτελούν μία ανεξέλεγκτη πηγή που οι εκπομπές της δεν εξαρτώνται από τις δικές μας παρεμβάσεις, οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να περιοριστούν και να ελεγχθούν πολύ πιο αποτελεσματικά απ' ό,τι γίνεται μέχρι σήμερα.

Είναι δύσκολο και θα ήταν αρκετά ανακριβές και, ως εκ τούτου, δεν θα ήταν σκόπιμο, να δοθεί η σχετική σπουδαιότητα των πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων για τη χώρα μας. **Η σχετική σπουδαιότητα της συνεισφοράς των διάφορων πηγών εξαρτάται κάθε φορά τόσο από το θεωρούμενο ρύπο όσο και από τη θεωρούμενη κλίμακα, αλλά και τη θεωρούμενη χρονική περίοδο.** Μόνο μια γενική εικόνα θα μπορούσαμε να δώσουμε, λέγοντας ότι μεταξύ όλων των σταθερών πηγών εκπομπής ρύπων, τον πρώτο ρόλο παίζει ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και αυτός με διαφορά από το σύνολο των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Σε το-

πική, όμως, κλίμακα, π.χ. βιομηχανικής ζώνης, το τοπίο αλληλάζει εντελώς και ιεραρχούνται οι βιομηχανίες της περιοχής κατά το είδος και τις ποσότητες των ρύπων. Τέλος, όταν αναφερόμαστε και στις κινητές πηγές, τότε έχουμε πάλι διαφορετική θεώρηση του σχετικού ρόλου των πηγών εκπομπής. Για παράδειγμα, στα αστικά κέντρα ή σε επίπεδο νομού, π.χ. Αττικής, η σημαντικότερη συνεισφορά σε οξειδία του αζώτου προέρχεται από τα οχήματα (κινητές πηγές) και η σημαντικότερη συνεισφορά σε οξειδία του θείου από τη βιομηχανία, ενώ η συνεισφορά των κεντρικών θερμάνσεων σε ρύπους αφορά μόνο τη χειμερινή περίοδο στη χώρα μας.

## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ)

# 3.1

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας βασίζεται κύρια στην καύση του λιγνίτη. Η ΔΕΗ Α.Ε. είναι η εταιρεία παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, που προμηθεύει με ηλεκτρική ενέργεια 7,5 εκατ. πελατών. Στην ιδιοκτησία της ανήκει, επίσης, και το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΔΕΗ είναι η μεγαλύτερη βιομηχανική επιχείρηση στην Ελλάδα, ως προς τα πάγια ενεργητικά στοιχεία. Κατά τη διάρκεια του έτους 2008, η Εταιρεία παρήγαγε περίπου το 91% από τις 57,5 TWh ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθησαν στην Ελλάδα και διήλθαν από τα δίκτυα μεταφοράς.

Η **καύση του λιγνίτη** είναι υπεύθυνη για τις εκπομπές δύο βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων: **του διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων**. Η απαιτούμενη, κατά μέσο όρο, ποσότητα λιγνίτη για έναν σταθμό ενέργειας παραγωγής 1.200 MW εκτιμάται σε 54.000 t την ημέρα. Δεδομένου ότι, κατά μέσο όρο, ένα ποσοστό 15% του καυσίμου μετατρέπεται σε τέφρα, ο σταθμός έχει παραγωγή αποβλήτων καύσεως, κατά μέσο όρο, περίπου 8.100 t την ημέρα. Αν η απόδοση είναι 99,9% για τα ηλεκτροστατικά φίλ-

τρα, περίπου 8,5 t ιπτάμενης τέφρας την ημέρα μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα ως αερολύματα<sup>19</sup>.

Το E-PRTR (European Pollutant Release and Transfer Register) είναι το δίκτυο καταγραφής και διάθεσης των δεδομένων των εκπομπών των ρύπων από τις διάφορες κατηγορίες δραστηριοτήτων για κάθε χώρα στην Ευρώπη, και υποστηρίζεται από την Υπηρεσία Ευρωπαϊκού Περιβάλλοντος (European Environment Agency) (<http://prtr.ec.europa.eu/>). Τα διαθέσιμα καταχωρημένα στοιχεία για τη χώρα μας αφορούν το έτος 2007, αλλά δίνουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα για τις σχετικές συνεισφορές των διαφόρων δραστηριοτήτων που εκπέμπουν ατμοσφαιρικούς ρύπους και αέρια του θερμοκηπίου. Με βάση τα στοιχεία αυτά, αλλά και το Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (2008-2012), ο τομέας της ενέργειας θεωρείται η κυριότερη πηγή συνεισφοράς - η οποία απέχει σημαντικά από κάθε άλλη κατηγορία πηγών - τόσο για τα αέρια του θερμοκηπίου όσο και για τα οξειδία του θείου, τα οξειδία του азώτου και τα αιωρούμενα σωματίδια.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του E-PRTR, στην Ελλάδα υπάρχουν 30 εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες χρησιμοποιούν κύρια ορυκτά καύσιμα. Με βάση τα στοιχεία αυτά, φαίνεται ότι ο τομέας της ενέργειας για την Ελλάδα είναι υπεύθυνος για εκπομπές της τάξης των:

- 57.500.000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο
- 400.000 τόνων διοξειδίου του θείου
- 140.000 τόνων οξειδίων του азώτου
- 30.000 τόνων αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ<sub>10</sub>

19. Triantafyllou A. G., 2003. Levels and trend of suspended particles around large lignite power stations. *Environmental Monitoring and Assessment* 89, p.15-34



Ο σημαντικότερος πόλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώρα βρίσκεται στην περιοχή της Εορδαίας, όπου λειτουργούν πέντε σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παράγοντας περισσότερο από το 70% της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται πανελλαδικά. Το λεκανοπέδιο της Εορδαίας έχει διαστάσεις 50 km κατά μήκος και 10-25 km κατά πλάτος, είναι σχετικά επίπεδο, βρίσκεται στα 650 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και περιτοιχίζεται από βουνά που φτάνουν τα 700 m. Η ταχύτητα των ανέμων είναι μικρή και η κατεύθυνσή τους κυρίως κατά τον βορειοδυτικό και νοτιοανατολικό άξονα του λεκανοπεδίου. Οι μεγαλύτερες πόλεις της Δυτικής Μακεδονίας οι οποίες βρίσκονται στην Εορδαία είναι: η Κοζάνη, με πληθυσμό περίπου 60.000 κατοίκων, και η Πτολεμαΐδα, με περίπου 30.000 κατοίκους, ενώ υπάρχουν αρκετά χωριά με συνολικό πληθυσμό περίπου 40.000 κατοίκων.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται, ενδεικτικά, οι εκπομπές σε διοξείδιο του θείου και σωματίδια σε γραμμάρια ανά δευτερόλεπτο, όπως μετρήθηκαν και δημοσιεύτηκαν σε σχετική εργασία για τους τέσσερις σταθμούς Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Καρδιάς και Αγ. Δημητρίου<sup>20</sup>.

#### ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ SO<sub>2</sub> ΣΤΟ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΕΟΡΔΑΙΑΣ

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ	
	Διοξείδιο του θείου	Σωματίδια
Αμυνταίου	1.800	60
Πτολεμαΐδας	394	622
Καρδιάς	580	1.694
Αγ. Δημητρίου	398	660

20. Triantafyllou A. G., Kassomenos P. A., 2002. *Aspects of Atmospheric Flow and Dispersion of Air Pollutants in a Mountainous Basin. The Science of the Total Environment* 297, p.85-103

Παρά το γεγονός ότι οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με ηλεκτροστατικά φίλτρα, μεγάλες συγκεντρώσεις ιπτάμενης τέφρας διαφορετικού μεγέθους εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας του λιγνίτη που καίγεται<sup>21</sup>. Η εκπεμπόμενη ιπτάμενη τέφρα τελικά καθιζάνει στο έδαφος, σε αποστάσεις από μερικά μέτρα ως και εκατοντάδες χιλιομέτρων από τις πηγές εκπομπής. Η απόσταση την οποία θα διανύσουν τα αερολύματα εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, όπως είναι το ύψος της καμινάδας, το μέγεθος των σωματιδίων και άλλα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Η μεταφορά, η αλληλαγή της μορφής τους, καθώς και η απόθεση των σωματιδίων εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές αλλαγές και τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.

Η δεύτερη περιοχή η οποία διαθέτει αξιόλογο λιγνιτικό κοίτασμα και μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι στην Κεντρική Πελοπόννησο η περιοχή της Μεγαλόπολης. Και αυτή, ως περιοχή, αντιμετωπίζει ανάλογα προβλήματα από τις εκπομπές των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την εξόρυξη και την καύση του λιγνίτη.

Αποτελεσματικές λύσεις στα σημερινά προβλήματα από την καύση των λιγνιτών είναι η χρήση του φυσικού αερίου, που είναι το καθαρότερο περιβαλλοντικά ορυκτό καύσιμο, αλλά, κυρίως, η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, σε συνδυασμό με τη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας. Η χώρα μας διαθέτει πολύ αξιόλογο αιολικό και ηλιακό δυναμικό και έχει ήδη εγκατεστημένα υδροηλεκτρικά έργα. Σύμφωνα με τις δεσμεύσεις και απέναντι στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο στόχος είναι το 20% της ενέργειας να παράγεται από ΑΠΕ ως το 2020.

**21.** *Tsitouridou R., Anatolaki Ch., 2007. On the Wet and Dry Deposition of Ionic Species in the Vicinity of Coal-Fired Power Plants, Northwestern Greece. Atmospheric Research 83, p.93-105*

## ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΡΥΠΟΥΣ

Πρόσφατη μελέτη<sup>22</sup> που έγινε σε 3.559 παιδιά ηλικίας 9-12 ετών στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας, έδειξε τις συνέπειες της έκθεσης σε ρύπους που σχετίζονται με τους λιγνιτικούς σταθμούς. Οι υψηλότερες συχνότητες ρινίτιδας και βρογχίτιδας παρατηρήθηκαν στην Πτολεμαΐδα, με την Κοζάνη και τη Φλώρινα να βρίσκονται πολύ κοντά. Η μελέτη εξέτασε και άλλες αιτίες παθήσεων του αναπνευστικού, και κατέληξε πως η βιομηχανικής προέλευσης επιβάρυνση ευθύνεται για τα υψηλά επίπεδα επιπλοκών σε αυτές τις περιοχές.

### ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΠΑΘΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΥΜΠΤΩΜΑ	ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	ΚΟΖΑΝΗ	ΦΛΩΡΙΝΑ
Ρινίτιδα	40,3%	35,2%	39,2%
Άσθμα	6,9%	5,4%	6,2%
Λοιμώδης βρογχίτιδα	12,1%	8,1%	10,1%
Οξεία βρογχίτιδα	17,0%	12,3%	14,1%

22. Sichletidis L., Tsiotsios I., Gavrilidis A., Chloros D., Gioulekas D., Kottakis I., Pataka A., 2005. The effects of environmental pollution on the respiratory system of children in Western Macedonia, Greece. *J. Invest Allergol Clin Immunol*, Vol. 15(2):117-123

## 3.2

### ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Όπως είδαμε και στην παράγραφο για το φωτοχημικό νέφος των μεγαλουπόλεων, οι πηγές ρύπανσης στα αστικά κέντρα είναι, κατά κύριο λόγο, τα οχήματα και, κατά δεύτερο λόγο, η θέρμανση. Και οι δύο αυτές πηγές είναι ανάλογες του πληθυσμού και, επομένως, τα προβλήματα της αστικής ρύπανσης αυξάνονται, όσο αυξάνονται και τα μεγέθη των πόλεων. Συχνά δε, επιδεινώνονται λόγω της κακής ρυμοτομίας, της έλλειψης ανοικτών χώρων αναψυχής και πρασίνου και, γενικά, συνδέονται άρρηκτα με τα πολεοδομικά, τα συγκοινωνιακά και τα γενικά λειτουργικά προβλήματα των Ελληνικών πόλεων. Άλλος σοβαρός λόγος για τις παρατηρούμενες εκπομπές από τα αυτοκίνητα στις ελληνικές πόλεις είναι η παλαιότητα των οχημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μέσος όρος των ΙΧ αυτοκινήτων και ελαφρών φορτηγών αγγίζει τα 12 έτη, και των βαρέων οχημάτων ξεπερνά τα 17 έτη<sup>23</sup>.

Η παραγωγή ρύπων από τα τροχοφόρα οφείλεται στην ατελή καύση του καυσίμου. Οι ρύποι που εξέρχονται από το θάλαμο καύσης του αυτοκινήτου είναι:

- υδρογονάνθρακες,
- οξείδια του αζώτου,
- μονοξείδιο του άνθρακα.

Ο ατμοσφαιρικός ρύπος ο οποίος σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στα αυτοκίνητα είναι το μονοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον, παράγεται και διοξείδιο του άνθρακα ως προϊόν πλήρους καύσης, το οποίο δεν θεωρείται ρύπος, αφού είναι αβλαβές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Όμως, το διοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο του θερμοκηπίου. Τα σημερινά αυτοκίνητα (καταλυτικά) εκπέμπουν ρύπους κατά 80% λιγότερους απ' ό,τι τα αυτοκίνητα της τεχνολογίας του 1970. Όμως, οι εκπεμπόμενοι σήμερα ρύποι από τα οχήματα εξακολουθούν να

συμβάλλουν σημαντικά στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου αριθμού των οχημάτων στις πόλεις. Μετά τη θέση σε ισχύ του συστήματος της απόσυρσης των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας από το 1992-1993, η κατάσταση των εκπομπών από τα οχήματα στα αστικά κέντρα της χώρας βελτιώθηκε αισθητά. Σήμερα, κυκλοφορούν κυρίως καταλυτικά αυτοκίνητα που λειτουργούν με αισθητήρα  $\lambda$ , ο οποίος ρυθμίζει με μεγάλη ακρίβεια το λόγο αέρα-καυσίμου σε συγκεκριμένη τιμή, ώστε να ελαχιστοποιούνται ταυτόχρονα οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου. Έτσι, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων για το μονοξείδιο του άνθρακα, ενώ για τα οξείδια του αζώτου υπερβάσεις παρατηρούνται μόνο στην Αθήνα, τοπικά, σε περιοχές έντονης κυκλοφορίας<sup>24</sup>.

Όπως είναι κατανοητό για τα αστικά κέντρα, οι κινητές πηγές, δηλαδή τα οχήματα, παραμένουν η κυριότερη πηγή ως προς τη συνεισφορά τους σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, με χαρακτηριστικούς ρύπους τα οξείδια του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα, σε αντιδιαστολή με την παραγωγή ενέργειας και τη βιομηχανία που έχει χαρακτηριστικούς ρύπους το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Αν θα θέλαμε, όμως, να δώσουμε μια σχετική σύγκριση της συνεισφοράς των πηγών, θα μπορούσαμε να το κάνουμε θεωρώντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως προς τις μέσες ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Σε επίπεδο χώρας, μετά την παραγωγή ενέργειας, ακολουθούν οι μεταφορές<sup>25</sup>.

Μπορούμε, επομένως, να θεωρήσουμε τις μεταφορές ως την πρώτη και σημαντικότερη πηγή εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων στα αστικά κέντρα της χώρας, ως κύρια αιτία εκδήλωσης του φωτοχημικού νέφους των μεγαλουπόλεων και ως τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων από καύσεις, με πρώτη την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

24. ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008. Εισήγηση για το εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

25. Βλέπε σχετικά Κεφ. 2

## 3.3

### ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

---

Η Ελλάδα είναι η λιγότερο βιομηχανοποιημένη από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όμως, η βιομηχανική δραστηριότητα είναι συγκεντρωμένη στις περιοχές των μεγάλων αστικών κέντρων της Αττικής και της Θεσσαλονίκης.

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο κατηγορίες βιομηχανικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης:

■ Από μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, όπως είναι τα διυλιστήρια, οι τσιμεντοβιομηχανίες, οι χαλυβουργίες και οι μονάδες εξόρυξης και επεξεργασίας μετάλλων. Αυτές οι μονάδες βρίσκονται σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Βόλο, Καβάλα και Χαλκίδα.

■ Από πολλές μικρότερες βιομηχανίες που είναι συσσωρευμένες σε μια περιοχή που γειτνιάζει άμεσα με κατοικημένη περιοχή, όπως είναι η Ελευσίνα, ο Ασπρόπυργος, τα Οινόφυτα και η Δυτική Θεσσαλονίκη.

Στη συνέχεια, θα κάνουμε μια συνοπτική παρουσίαση των διυλιστηρίων, της τσιμεντοβιομηχανίας και της μεταλλουργικής βιομηχανίας στη χώρα μας.

#### Διυλιστήρια

Στην Ελλάδα, η διύλιση πετρελαίου πραγματοποιείται από τέσσερα διυλιστήρια: Ασπροπύργου, Θεσσαλονίκης, Ελευσίνας και Αγ. Θεοδώρων. Και τα τέσσερα διυλιστήρια έχουν συνολική ετήσια δυναμικότητα διύλισης 19.000 kt (έτος 2000) και καλύπτουν την ελληνική αγορά σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 95%.

Εξαιτίας της φύσης αλλά και του μεγέθους των διυλιστηρίων πετρελαίου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σημαντικές. Οι κάτοικοι γύρω από τα διυλιστήρια αντιδρούν συχνά, εξαιτίας της υποβάθμισης των περιοχών τους και της ποιότητας ζωής τους. Συνήθως, η τοπική κοινωνία είναι αντίθετη σε κάθε επέκταση των εγκα-

ταστάσεων αυτών και υπάρχει διάχυτη η αντίληψη για μη επαρκή συστήματα αντιρύπανσης και ανυπαρξία ελέγχων από την Πολιτεία.

Τα αέρια απόβλητα κατατάσσονται σε τέσσερις γενικές κατηγορίες:

- Απαέρια καύσης
- Διάχυτες εκπομπές υδρογονανθράκων
- Εκπομπές άλλων αερίων
- Σωματίδια (σχεδόν αποκλειστικά καταλύτης FCC)

Οι σημαντικότεροι αέριοι ρύποι που εκλύονται στις εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου αφορούν σωματίδια (TSP), διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC και TOC), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), υδροφθόριο (HF) και αμμωνία (NH<sub>3</sub>). Από τις οργανικές ενώσεις κυριότερες είναι: Αλδεΐδες, τετρααιθυλιούχος μόλυβδος, τετραμεθυλιούχος μόλυβδος, βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο, κανονικό εξάνιο και ολεφίνες. Οι κυριότερες οργανικές πτητικές ενώσεις είναι οι υδρογονάνθρακες<sup>26</sup>.

#### ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ

ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2001 (t)	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2004 (t)
Ασπρόπυργος	3.500	3.180
Ελευσίνα	570	2.910
Θεσσαλονίκη	386	378
Αγ. Θεόδωροι	- *	1.670
<b>Σύνολο</b>	<b>4.456</b>	<b>8.138</b>

(Πηγή: E-PRTR)

\*Δεν υπάρχουν δεδομένα

26. Κάκαρη Ε., 2008. Διυλιστήρια: Μονάδα Ανάκτησης Θείου - Μια περιβαλλοντική μονάδα, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, Κοζάνη, [http://eprints.teiko.gr/73/1/A\\_32\\_2008.pdf](http://eprints.teiko.gr/73/1/A_32_2008.pdf)

Όλα τα ελληνικά διυλιστήρια διαθέτουν πλήθος μετρητικών διατάξεων για διάφορους αέριους ρύπους και σε διάφορα τμήματα της παραγωγικής διαδικασίας. Τα στοιχεία αυτά συνήθως δημοσιεύονται σε ετήσιες περιβαλλοντικές εκθέσεις των εταιριών. Συμπερασματικά, θα πρέπει να συγκρατήσουμε ότι τα διυλιστήρια συνεισφέρουν σημαντικά στις περιοχές των εγκαταστάσεών τους σε εκπομπές ΠΟΕ και διοξειδίου του θείου.

### Τσιμεντοβιομηχανία

Η τσιμεντοβιομηχανία στην Ελλάδα καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο κομμάτι του βιομηχανικού και παραγωγικού δυναμικού της χώρας. Αυτήν τη στιγμή υπάρχει ο όμιλος του ΤΙΤΑΝΑ, με τέσσερα εργοστάσια συνολικής παραγωγής 6.000.000 τόνων ετησίως (Ελευσίνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα και Βοιωτία), τρεις μονάδες παραγωγής της ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ, συνολικής παραγωγικής δυναμικότητας 7.000.000 τόνων, όπως και η τσιμεντοβιομηχανία ΧΑΛΥΨ. Η χώρα μας κατατάσσεται στις πρώτες θέσεις, ανάμεσα στις σημαντικότερες εξαγωγικές χώρες τσιμέντου, σε ευρωπαϊκό και σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν καταχωρηθεί από την Υπηρεσία Ευρωπαϊκού Περιβάλλοντος (European Environment Agency)<sup>27</sup> για το 2007, η τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί τον σημαντικότερο κλάδο και ως προς τις αέριες εκπομπές, ανάμεσα σε όλες τις εγκαταστάσεις εξόρυξης και επεξεργασίας μη μεταλλικών υλικών. Συγκεκριμένα, στην κατηγορία αυτών των εγκαταστάσεων περιλαμβάνονται επτά υποκατηγορίες: υπόγειες μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις, επιφανειακές μεταλλευτικές και λατομικές εκμεταλλεύσεις, παραγωγή τσιμέντου κλίνκερ, παραγωγή αμιάντου, παραγωγή γυαλιού, τήξη ανόργανων υλικών και παραγωγή κεραμικών.

Τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την πα-



ραγωγή τσιμέντου (και αποτελούν αντικείμενο του παρόντος Οδηγού) είναι η αέρια ρύπανση και η κατανάλωση θερμικής ενέργειας.

Κατά την παραγωγή του τσιμέντου, τις κύριες εκπομπές αποτελούν τα σωματίδια (ΑΣ και ΑΣ<sub>10</sub>), τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Σε μικρές ποσότητες μπορεί να εκλύονται ποσότητες πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC), αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), χλωρίου και υδροχλωρίου, καθώς επίσης και επικίνδυνα συστατικά από υπολείμματα των πρώτων υλών ή των καυσίμων, καθώς και υπολείμματα ατελούς καύσης. Τέλος, οι πρώτες ύλες και το καύσιμο μπορεί να περιέχουν βαρέα μέταλλα σε ίχνη, τα οποία μπορεί να εκλύονται ως σωματίδια ή ως ατμός.

Οι εκπομπές σκόνης είναι αυτό που απασχολεί περισσότερο, από περιβαλλοντικής άποψης, τη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου. Διακρίνονται σημειακές πηγές εκπομπής σκόνης (ελεγχόμενες) και διάχυτες πηγές (μη ελεγχόμενες).

Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι οι διάχυτες εκπομπές σκόνης δημιουργούνται από:

- την κυκλοφορία των οχημάτων μεταφοράς υλικών (πρώτων υλών κ.λπ.).
- την υπαίθρια αποθήκευση πρώτων υλών και κλίνκερ<sup>28</sup>.

**28.** Το πρώτο βήμα στην παραγωγή τσιμέντου είναι η πύρωση του ανθρακικού ασβεστίου, ακολουθούμενη από καύση του προκύπτοντος οξειδίου του ασβεστίου μαζί με διοξείδιο του πυριτίου, αλουμίνα και οξείδιο του σιδήρου, σε υψηλές θερμοκρασίες, για το σχηματισμό κλίνκερ.

Πηγή του ανθρακικού ασβεστίου αποτελούν φυσικώς απαντώμενα ασβεστούχα κοιτάσματα, όπως ασβεστόλιθος, μάργα ή κωμωλία. Το διοξείδιο του πυριτίου, το οξείδιο του σιδήρου και η αλουμίνα ανευρίσκονται σε διάφορα μεταλλεύματα και ορυκτά, όπως άμμο, σχιστόλιθο, άργιλο και σιδηρομετάλλευμα. Οι φυσικές πρώτες ύλες μπορούν, επίσης, να αντικατασταθούν μερικώς από τέφρα σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, σκωρία ψυκαμίων και άλλα υπολείμματα διεργασιών.

- τη διακίνηση υλικών με οχήματα (τροφοδοσία και απόληψη).
- τη λειτουργία των συστημάτων μεταφοράς (ταινίες, αναβατόρια και κοχλίες), ειδικά στα σημεία αλλαγής συστημάτων και πτώσης υλικών<sup>29</sup>.

Τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) είναι από τους σημαντικότερους ρύπους όσον αφορά στην αέρια ρύπανση από τις εγκαταστάσεις παρασκευής τσιμέντου. Στα καυσαέρια του κλιβάνου κυριαρχούν τα  $\text{NO}$  και τα  $\text{NO}_2$  ( $\text{NO}$  90% και  $\text{NO}_2 < 10\%$ ). Υπάρχουν δύο κύριες πηγές παραγωγής  $\text{NO}_x$ : Κάθε σύστημα κλιβάνου έχει τα δικά του χαρακτηριστικά εκπομπών, ενώ οι εκπομπές  $\text{NO}_x$  από την ίδια εγκατάσταση μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά σε σχέση με το χρόνο. Η χρήση καυσίμων από απόβλητα έχει δείξει τόσο αύξηση των εκπομπών  $\text{NO}_x$ , όσο και μείωση.

Η εισαγωγή του θείου στη διεργασία προέρχεται από τις πρώτες ύλες και τα καύσιμα. Το θείο εμφανίζεται όταν τα σουλφίδια εξατμίζονται μερικώς από τις πρώτες ύλες (περίπου κατά 30%), στο πρώτο στάδιο του προθερμαντήρα. Ο αέρας από αυτήν τη μονάδα θα ελευθερωθεί, είτε απευθείας στην ατμόσφαιρα είτε θα τροφοδοτηθεί στο μύλο των πρώτων υλών, εάν αυτός είναι σε λειτουργία. Στο μύλο αυτόν, περίπου το 50% του  $\text{SO}_2$  παγιδεύεται από τις πρώτες ύλες. Παρά το γεγονός ότι το περισσότερο θείο δεσμεύεται στο κλίνκερ, οι εκπομπές  $\text{SO}_2$  είναι, γενικά, αρκετά σημαντικές, και το θείο θεωρείται από τους πιο σοβαρούς ρύπους. Όπως ισχύει για τα  $\text{NO}_x$  και τους άλλους ρύπους, οι εκπομπές  $\text{SO}_2$  ποικίλλουν από εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Ακόμα και στην ίδια εγκατάσταση σημειώνονται ευρείες διακυμάνσεις. Γενικά, ανάλογα με τη διεργασία και την πηγή του θείου, η δέσμευση του  $\text{SO}_2$  κυμαίνεται από 75% έως 90%.

**29.** Χατζηελευθερίου και Γκάργκουλης, 2001. Η οδηγία 96/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές: Μη μεταλλικά ορυκτά, ΥΠΕΧΩΔΕ.

Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα εκτιμάται σε 800-900 Kg/τόνο κλίνκερ. Περίπου το 60% αυτής της εκπομπής προέρχεται από τη διεργασία ασβεστοποίησης, ενώ το 40% σχετίζεται με την καύση του καυσίμου. Το διοξείδιο του άνθρακα της ασβεστοποίησης δεν μπορεί να αλληλάξει, όμως οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση έχουν προοδευτικά μειωθεί. Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί μία μείωση περίπου 30%, κυρίως λόγω της υιοθέτησης περισσότερο αποδοτικών, από πλευράς καυσίμου, κλιβάνων.

### ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟ-ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007

ΡΥΠΟΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (τόνοι)
CO <sub>2</sub>	10.570.000
SO <sub>2</sub>	3.000
NO <sub>2</sub>	29.941
ΑΣ <sub>10</sub>	252
Τοξικά μέταλλα - Μεταλλοειδή	
Αρσενικό και ενώσεις του (As)	0,044
Υδράργυρος και ενώσεις του (Hg)	0,7
Χλώριο και ανόργανα συστατικά του	40
Βενζόλιο	5

(Πηγή: <http://prtr.ec.europa.eu/IndustrialActivity.aspx>)

Ως προς τα ισχύοντα για τις βιομηχανίες, το θεσμικό πλαίσιο παρουσιάζει σημαντική πληρότητα και αναμένεται να ψηφιστεί εντός του 2010 η νέα οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Βιομηχανικές Εκπομπές (Industrial Emissions Directive IED) (βλ. 3.1). Οι προϋποθέσεις αδειοδότησης και οι όροι λειτουργίας των εγκαταστάσεων καθορίζονται σαφώς και με μεγάλη ακρίβεια. Το θέμα που παραμένει είναι η συνέπεια στην εφαρμογή τους και η πληρέστερη και σωστή λειτουργία μηχανισμών ελέγχου από την πολιτεία.

## Μεταλλουργική βιομηχανία

Για τη μεταλλουργική βιομηχανία στη χώρα μας έχουμε 18 σημαντικές εγκαταστάσεις, τέσσερις στην περιοχί Θεσσαλονίκης, δύο στη Λάρισα, τρεις στο Βόλο και οι υπόλοιπες στη Στερεά Ελλάδα και Εύβοια. Ανάμεσα σε αυτές, σημαντική θέση έχει η παραγωγή αλουμινίου, η χαλυβουργία και η επεξεργασία σιδηρούχων μεταλλευμάτων. Οι σημαντικότερες εκπομπές στην ατμόσφαιρα αποδίδονται στην επεξεργασία των μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων, που κύρια εκπροσωπείται από την παραγωγή αλουμινίου.

### ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007

ΡΥΠΟΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (τόνοι)
CO <sub>2</sub>	1.500.000
SO <sub>2</sub>	16.600
NO <sub>2</sub>	1.918
ΑΣ <sub>10</sub>	742
<b>Βαρέα μέταλλα</b>	
Χρώμιο (Cr)	0,3
Νικέλιο (Ni)	0,1
Μόλυβδος (Pb)	1,96
Ψευδάργυρος (Zn)	0,293
Φθόριο και ανόργανα συστατικά του	302
Χλώριο και ανόργανα συστατικά του	12,8

(Πηγή: <http://prtr.ec.europa.eu/IndustrialActivity.aspx>)

Από τον πίνακα αυτόν παρατηρούμε ότι η μεταλλουργική βιομηχανία είναι υπεύθυνη για σημαντικές συνεισφορές διοξειδίου του θείου και βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα. Από τις καμίνους εκπέμπονται πολύ μικρού μεγέθους αιωρούμενα σωματίδια (<0,03 μm) τα οποία είναι επιβλαβή τόσο λόγω του μεγέθους τους όσο και λόγω της σύστασής τους, καθώς μπορεί να περιέχουν βαρέα και τοξικά μέταλλα.

Οι εκπομπές από τη θέρμανση των κτιρίων είναι σημαντικές για την ατμόσφαιρα των πόλεων κατά τη χειμερινή περίοδο. Μαζί με τις εκπομπές από τα τροχοφόρα αποτελούν την αστική ρύπανση. Οι εκπομπές από τη θέρμανση των κτιρίων έχουν εποχιακό χαρακτήρα. Η διάρκεια της χειμερινής περιόδου για το μεγαλύτερο μέρος της Ελληνικής επικράτειας είναι σχετικά μικρή, περίπου 5 μήνες το χρόνο. Μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών από τις κεντρικές θερμάνσεις στη χώρα μας άρχισαν να ισχύουν από το 1986. Κύρια αφορμή ήταν οι φθορές στα μνημεία του Παρθενώνα που παρατηρήθηκαν τη δεκαετία του 1970 από τα οξειδία του θείου, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε θείο του μαζούτ. Η αντιμετώπιση του διοξειδίου του θείου έγινε αρχικά με την απαγόρευση της χρήσης του μαζούτ στις κεντρικές θερμάνσεις και, στη συνέχεια, με συνεχείς μειώσεις της περιεκτικότητας σε θείο τόσο του μαζούτ όσο και του πετρελαίου. Σήμερα, το πρόβλημα του διοξειδίου του θείου ελέγχεται πλήρως και δεν παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων σε όλους τους σταθμούς του εθνικού δικτύου παρακολούθησης για τις ελληνικές πόλεις. Για το πετρέλαιο θέρμανσης, η περιεκτικότητα σε θείο μειώθηκε σε 0,5% κατά βάρος το 1986, 0,3% κατά βάρος το 1987 και 0,2% το 1995.

Οι όροι λειτουργίας και τα όρια για τις σταθερές εστίες καύσης, για τη θέρμανση κτιρίων και νερού και τη σωστή λειτουργία των λεβητοστασίων αναφέρονται στην Υπουργική Απόφαση 54678/1986 (ΦΕΚ Β' 938/1986).

Η σωστή συντήρηση και λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, η εφαρμογή επιθεωρήσεων στους λέβητες, η εφαρμογή κατασκευαστικών προδιαγραφών για τα κτίρια οι οποίες εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση των απωλειών, η χρήση ηλιακών συστημάτων για τη θέρμανση του νερού, η αντικατάσταση των καυστήρων πετρελαίου με καυστήρες φυσικού αερίου είναι εφικτά και άμεσα εφαρμόσιμα μέτρα, που μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές από τις κεντρικές θερμάνσεις.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση στην Ελληνική νομοθεσία οδηγιών όπως αυτής για την εφαρμογή κοινής μεθοδολογίας υπολογισμού της ολοκληρωμένης ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, και η εφαρμογή συστήματος πιστοποίησης νέων και υφιστάμενων κτιρίων (2002/91/ΕΚ) θα συμβάλουν σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών από τις κεντρικές θερμάνσεις. Τέλος, επειδή στη χώρα μας οι κλιματικές συνθήκες είναι πολύ ευνοϊκές, θα πρέπει τα νέα κτίρια να κατασκευάζονται με βάση τις πλέον σύγχρονες αντιλήψεις τόσο για την εξοικονόμηση και τον περιορισμό των απωλειών της ενέργειας όσο και για την αξιοποίηση όλων των άλλων τρόπων παραγωγής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων, ώστε η επιλογή των καυστήρων πετρελαίου σταδιακά να καταργηθεί.



## ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

# 3.5

Κατά τα τελευταία 40 έτη, ο αριθμός των πυρκαγιών στη χώρα μας υπερτριπλασιάστηκε, ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, παλαιών (όπως η κτηνοτροφία, η καύση σιτοκαλαμιών κ.λπ.) αλλά και νέων (όπως ο τουρισμός, η ανάπτυξη περιοχών παραθεριστικής κατοικίας κ.λπ.). Παράλληλα, η καταστροφικότητα των πυρκαγιών εντάθηκε, κυρίως λόγω της αύξησης της διαθέσιμης βιομάζας, ως αποτέλεσμα της εγκατάλειψης της υπαίθρου, αλλά και λόγω της δημιουργίας οικισμών σε επαφή και μίξη με τα δάση<sup>30</sup>. Από τις δασικές πυρκαγιές εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες τόσο αέριων όσο και σωματιδιακών ρύπων. Οι δασικές πυρκαγιές συνεισφέρουν, επίσης, στην κλιματική αλλαγή, αλλά παίζουν και πρωτεύοντα ρόλο στην ποιότητα του αέρα σε τοπική κλίμακα<sup>31</sup>. Οι δασικές πυρκαγιές συνεισφέρουν κατά 0,2% στις εκπομπές NO<sub>x</sub>, 0,5% στις εκπομπές ΠΟΕ, πηλην μεθανίου, 0,2% στις εκπομπές μεθανίου (CH<sub>4</sub>), 1,9% στις εκπομπές CO, και 0,1% στις εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) στην Ευρώπη<sup>32</sup>.

Αντίθετα με άλλες ανθρωπογενείς πηγές, οι εκπομπές από τις πυρκαγιές παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα τόσο ως προς τη χωρική κατανομή όσο και ως προς τη χρονική συνιστώσα. Για τους

30. Ξανθόπουλος, 1998. *Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: παρελθόν, παρόν και μέλλον*, Επίκεντρα, τεύχος 6, σελ. 62-71. Καϊλίδης, 1990. *Δασικές Πυρκαγιές*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 510.

31. IPCC, 2007. *Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policy Makers*, In Solomon S. Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt KB., Tignor M., Miller HL. (eds), *Climate Change 2007: the Physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of IPCC*, Cambridge University Press, New York

32. EMEP/CORINAIR, 2002. *Atmospheric emission inventory guidebook, 3rd edn*. ΕΕΑ technical report No 30, EMEP task force on Emission Inventories

λόγους αυτούς, η εκτίμηση της συνεισφοράς τους στη ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι εξαιρετικά δύσκολη. Επιπλέον, η καιόμενη βιομάζα είναι ανομοιογενής και οι διαδικασίες της καύσης προχωρούν κατά στάδια, παράγοντας διαφορετικά είδη ρύπων σε κάθε ένα από αυτά.

Η Ελλάδα αντιμετωπίζει ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στην Ευρώπη σε σχέση με τις δασικές πυρκαγιές. Κάθε χρόνο, οι καιόμενες εκτάσεις στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερες από το 10% της συνολικά καιόμενης έκτασης στη νότια Ευρώπη. Η συνολικά καιόμενη επιφάνεια ανά πυρκαγιά στην Ελλάδα είναι η μεγαλύτερη σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη στην Ευρώπη<sup>33</sup>. Σχετικά με τις αέριες εκπομπές, αναφέρεται ότι η συνεισφορά σε ρύπους από την πυρκαγιά υπερβαίνει κατά πολύ αυτή από τις άλλες ανθρωπογενείς εκπομπές στην περιοχή της πυρκαγιάς και σε περιοχές πάνω από τις οποίες φθάνει το αέριο νέφος. Σε μελέτη περίπτωσης και προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών που έλαβαν χώρα το 2000 για τα αιωρούμενα σωματίδια  $AS_{10}$ , η συνεισφορά από την πυρκαγιά έφτασε, κατά μέσο όρο, στο 50% γύρω από την καιόμενη περιοχή, με μέγιστο το 80%, ενώ για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) η μέση συνεισφορά ήταν 50% στη διάρκεια της περιόδου που μελετήθηκε<sup>34</sup>.

**33.** Dimitrakopoulos, 1990. *A synopsis of the Greek wildland fireproblem. Int For Fire News 4, p.6-7*

**34.** Lazaridis et al, 2008. *Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece, Air Qual Atmos Health, 1:143-158.*



## ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΡΗΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΦΡΙΚΗΣ

## 3.6

Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), όπως είδαμε και σε προηγούμενες παραγράφους, έχουν πολλές πηγές προέλευσης και μεγάλη ποικιλία σύστασης, καθώς και ποικίλες επιπτώσεις στην υγεία και στα οικοσυστήματα. Πολλές φορές, η σύσταση των αιωρουμένων σωματιδίων μπορεί να έχει ασήμαντες επιπτώσεις στην υγεία. Τέτοια είναι, συνήθως, τα **σωματίδια φυσικής προέλευσης**. Όμως, όταν αυτά έχουν μικρά μεγέθη, όπως αυτά που προκύπτουν από μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις, γίνονται εισπνεύσιμα. Αν, επιπλέον, στην επιφάνειά τους έχουν ροφηθεί τοξικές και επικίνδυνες για την υγεία ενώσεις, τότε γίνονται επιβλαβή. Ακόμα, η μεγάλη τους επιφάνεια προσφέρεται για να δράσει ως καταλύτης σε αντιδράσεις μεταξύ αερίων στην ατμόσφαιρα οι οποίες θα συνέβαιναν με μικρότερη ταχύτητα αν αυτά απουσίαζαν. Γενικά, δηλαδή, μπορούμε να πούμε ότι μεγάλος σωματιδιακός φόρτος στην ατμόσφαιρα είναι προφανές ότι υποβαθμίζει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Επιπλέον, ο ρόλος των αιωρουμένων σωματιδίων στη διαμόρφωση του κλίματος δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί. Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το ισοζύγιο των ακτινοβολιών στη γη και το κλίμα με δύο τρόπους:

- άμεσα, ανακλώντας και απορροφώντας μέρος των ακτινοβολιών που εισέρχονται στην και εξέρχονται από την ατμόσφαιρα
- έμμεσα, χρησιμεύοντας ως πυρήνες συγκέντρωσης για τη δημιουργία των νεφών.

Αυτά τα δύο φαινόμενα είναι πολύ δύσκολο να περιγραφούν ποσοτικά και, επομένως, η αβεβαιότητα για τον κλιματικό ρόλο των ΑΣ παραμένει σημαντική. Τα σωματίδια που προέρχονται από την αισθητή διάβρωση των εδαφών, αποκαλούμενα συνήθως με τον όρο «σκόνη» (dust), λόγω της σύστασής τους, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα δύο παραπάνω φαινόμενα.

Η Μεσόγειος θεωρείται μία από τις πιο επιβαρυνμένες περιοχές

στον πλανήτη από πλευράς φόρτου αιωρουμένων σωματιδίων, κύρια λόγω των εκπομπών σημαντικότεων ποσοτήτων αιωρουμένων σωματιδίων από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής. Κάθε χρόνο, τεράστιες ποσότητες σκόνης, από τις ερημικές περιοχές της Σαχάρας, που εκτιμώνται σε εκατοντάδες εκατομμύρια τόνους και μέχρι ένα δισεκατομμύριο τόνους, εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια περιόδων ισχυρών ανέμων και μεταφέρονται, μέσω των συστημάτων κυκλοφορίας των ανέμων, πάνω από την τροπική ζώνη του Βόρειου Ατλαντικού και τη Μεσόγειο<sup>35</sup>.



## ΣΚΟΝΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ

Η μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα χαρακτηρίζεται από μεγάλη σποραδικότητα και συμβαίνει κατά τη διάρκεια «επεισοδίων» που διαρκούν συνήθως 1-3 μέρες κατά την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο για τη Νότια και Νοτιοανατολική Ευρώπη. Για παράδειγμα, για διάστημα 18 μηνών (2000-2002), έγινε καταγραφή πάνω από 70 επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, με συνολική διάρκεια 120-150 ημερών, ενώ το κάθε επεισόδιο είχε διάρκεια 1-4 μέρες<sup>36</sup>. Όταν συμβαίνουν τέτοια επεισόδια, οι συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων στα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας, τόσο για τα  $AS_{10}$  όσο και για τα  $AS_{2,5}$ , υπερβαίνουν κατά πολύ και το όριο των  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $AS_{10}$ ) και την τιμή-στόχο των  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $AS_{2,5}$ ). Οι υπερβάσεις αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ποιότητα του αέρα, αν κανείς λάβει υπόψη του όσα αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου αυτής για τις επιπτώσεις του μεγάλου σωματιδιακού φόρτου, ακόμα κι αν αυτή καθαυτή η σύσταση των αιωρουμένων σωματιδίων δεν είναι επιβλαβής για την υγεία.

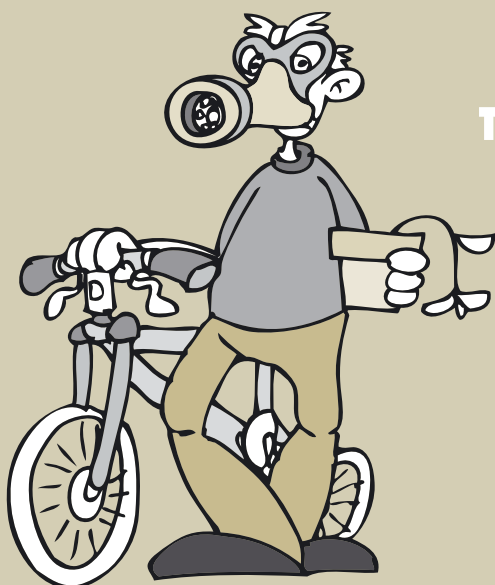
36. Papayannis A., Amiridis V., Mona L., Tsaknakis G., Balis D., Bosenberg J., Chaikovski A., De Tomasi F., Grigorov I., Mattis I., Mitev V., Muller D., Nickovic S., Perez C., Pietruczuk A., Pisani G., Ravetta F., Rizi V., Sicard M., Trickl T., Wiegner M., Gerding M., Mamouri R. E., Amico G. D. and Pappalardo G., 2008. Systematic lidar observations of Saharan dust over Europe in the frame of EARLINET (2000-2002), *J. Geophys. Res.*, 113, D10204, doi:10.1029/2007/JD009028



# 4

Η εξέλιξη της  
ατμοσφαιρικής ρύπανσης  
και η βελτίωση  
της ποιότητας του αέρα  
στην Ελλάδα

Καθαρές  
τεχνολογίες



## 4.1

### ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

---

Οι νέες τεχνολογίες μείωσης εκπομπών από τις μεταφορές περιλαμβάνουν ένα σημαντικό αριθμό λύσεων που διαφέρουν τόσο στις αρχές τους όσο και στο στάδιο ωριμότητας για ευρεία και άμεση εφαρμογή. Τέτοιες τεχνολογίες περιλαμβάνουν βελτιώσεις των ήδη υπάρχοντων καταλυτικών μετατροπέων, ώστε να αντιμετωπίζουν θέματα όπως το πρόβλημα της ψυχρής εκκίνησης, καθώς και καταλυτικών μετατροπέων, που να ανταποκρίνονται με επιτυχία στους κινητήρες ντίζελ. Έχουν ήδη προωθηθεί στην αγορά τροχοφόρα που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα (βιοκαύσιμα), καθώς και υβριδικά αυτοκίνητα όπου ο κινητήρας λειτουργεί και με ηλεκτρισμό. Άλλη υβριδική τεχνολογία βασίζεται σε υδραυλικά μέρη στους κινητήρες αντί των ηλεκτρικών. Στην περίπτωση αυτή, η αποθήκευση της ενέργειας δεν γίνεται σε μια μπαταρία, αλλά σε υδραυλικούς συσσωρευτές υψηλής πίεσης. Η εκτενής αναφορά σε κάθε ένα σύστημα ξεφεύγει από τους στόχους του παρόντος Οδηγού.

Στο επίπεδο εναρμόνισης της χώρας μας στα ισχύοντα και στις άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα πρέπει να αναφερθούμε στην προσπάθεια προώθησης της παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Η χρήση των βιοκαυσίμων εντάσσεται στη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με στόχο την απεξάρτηση των ενεργειακών απαιτήσεων από τα ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι μεταφορές αποτελούν σημαντικό τομέα που αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και περιλαμβάνονταν στους στόχους του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Τα βιοκαύσιμα είναι το μόνο κατάλληλο διαθέσιμο υποκατάστατο της βενζίνης και του ντίζελ στις μεταφορές. Βιοκαύσιμα όπως το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη χρησιμοποιούνται σήμερα αναμειγμένα με τα συμβατικά καύσιμα. Σημαντικό κριτήριο για τη χρήση τους είναι να μην υπάρχει ανάγκη μετατροπής των κινητή-

ρων. Η αυτοκινητοβιομηχανία έχει ήδη παραγάγει οχήματα «ευέλικτα» σε καύσιμα (Flexi Fuel Vehicles - FFVs). Τέτοια οχήματα λειτουργούν με μίγματα αιθανόλης και πετρελαίου, συνήθως, και μέχρι Ε85 (85% αιθανόλη, 15% πετρέλαιο, το οποίο είναι το πιο κοινό μίγμα για τη Μεγάλη Βρετανία). Η βιοαιθανόλη θεωρείται «πράσινο» καύσιμο γιατί είναι ουδέτερη ως προς τον άνθρακα, καθώς όλο το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την καύση της εξισορροπείται από την απορρόφηση από την ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης-παραγωγής της βιομάζας από την οποία προέρχεται η αιθανόλη. Η Σουηδία έχει επιτύχει, ήδη, ένα μερίδιο 4% της αγοράς βενζίνης να καλύπτεται από βιοαιθανόλη, και η Γερμανία, παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή βιοντίζελ, έχει επιτύχει, ήδη, ένα μερίδιο 6% της αγοράς ντίζελ.

Η ΕΕ εξέδωσε, το 2003, την οδηγία 2003/30, με στόχο την ώθηση της παραγωγής και της κατανάλωσης βιοκαυσίμων στην ΕΕ. Η οδηγία 2003/30/ΕΚ όριζε ότι η κατανάλωση βιοκαυσίμων στις μεταφορές θα έπρεπε να φτάνει το 5,75% μέχρι το 2010. Με τα περισσότερα κράτη-μέλη να υστερούν στους στόχους για τη χρήση ΑΠΕ, η νέα Οδηγία 2009/28/ΕΚ ορίζει ότι μέχρι το 2020, τουλάχιστον το 20% της ενέργειας που καταναλώνει το κάθε κράτος και το 10% της ενέργειας που καταναλώνει στις μεταφορές θα πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ και, ειδικά για τις μεταφορές, από βιοκαύσιμα.

Η Ελλάδα έχει δεσμευτεί για τη συμμετοχή των ΑΠΕ με ποσοστό 20% μέχρι το 2020, από την τρέχουσα συμμετοχή του 10%. Επιπλέον, απαιτείται το 10% των σημερινών συμβατικών καυσίμων να αντικατασταθεί με βιοκαύσιμα μέχρι το 2020. Στην Ελλάδα, ο αγροτικός τομέας αποτελεί άνω του 5% του ΑΕΠ, σχεδόν το τριπλάσιο του μέσου όρου, 1,8%, της ΕΕ. Επομένως, οι εταιρείες που ασχολούνται με βιομάζα και βιοκαύσιμα έχουν στη διάθεσή τους άφθονες πηγές πρώτων υλών. Σήμερα, περισσότερες από 10 εταιρείες δραστηριοποιούνται στην ελληνική αγορά βιοκαυσίμων (π.χ. ELIN, EL-VI, Pettas, Agroinvest).

*Τι συνεπάγεται η χρήση βιοκαυσίμων ως προς την επιβάρυνση του αέρα με ρύπους;*

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα και αντίστοιχες δημοσιεύσεις τεχνικών και επιστημονικών εργασιών ως προς τις εκπομπές από τις μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα σε διάφορα ποσοστά ή και καθαρά βιοκαύσιμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτών των εργασιών, τα είδη και οι ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων ποικίλλουν, ανάλογα με το είδος του βιοκαυσίμου. Ως γενικό συμπέρασμα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι πολλές κατηγορίες βιοκαυσίμων δεν περιέχουν καθόλου θείο και, επομένως, έχουμε μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του θείου. Πολλές εργασίες καταλήγουν στο κοινό συμπέρασμα ότι οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζονται αρκετά μειωμένες (μέχρι και 50%). Οι συνολικοί υδρογονάνθρακες επίσης εμφανίζονται σημαντικά μειωμένοι. Τα οξείδια του азώτου, όμως, παρουσιάζουν συχνά αυξημένες τιμές, που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της μηχανής και τις διαδικασίες ελέγχου. Ως προς τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, και αυτοί δείχνουν να είναι σε πολλές περιπτώσεις μειωμένοι σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Η φορμαλδεΰδη, όμως, και μερικές άλλες καρβονυλικές ενώσεις εμφανίζονται αυξημένες σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, κατά ποσοστά που φθάνουν περίπου το 20%.



Σχετικά με τη θέρμανση των κτιρίων, αρχικά βελτιώσεις ως προς τις εκπομπές οφείλονται σε μέτρα που έχουν ληφθεί πριν από αρκετά χρόνια, όπως:

1. Η χρήση πετρελαίου θέρμανσης με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, το οποίο από το 1995 περιορίζεται στο 0,2%.
2. Η ύπαρξη σχετικών νομοθετημάτων των όρων λειτουργίας και ορίων εκπομπών για τις σταθερές εστίες καύσης, για τη θέρμανση κτιρίων και νερού, για τη σωστή λειτουργία των ληβητοστασίων (ΦΕΚ Β' 938/1986) και συμπληρωματική νομοθεσία σχετική με την αλλαγή του καυσίμου από μαζούτ σε ντίζελ (ΦΕΚ Β' 597/13.9.1990).

Επιπλέον, η πρόσφατη δημιουργία του δικτύου φυσικού αερίου δίνει τη δυνατότητα αντικατάστασης των καυστήρων πετρελαίου με καυστήρες φυσικού αερίου. Είναι γνωστό ότι το φυσικό αέριο είναι το καθαρότερο από τα ορυκτά καύσιμα ως προς τις εκπομπές όλου του φάσματος των ρύπων, και η επέκταση της χρήσης του θα μειώσει τη συνεισφορά των εκπομπών από τις κεντρικές θερμάνσεις. Το φυσικό αέριο εισάγεται στη χώρα μας μέσω αγωγών υψηλής πίεσης. Η πορεία του συνεχίζεται μέσα από δίκτυα μέσης πίεσης (19 bar), που έχουν αποδέκτες βιομηχανικούς καταναλωτές, καθώς και μέσα από δίκτυα χαμηλής πίεσης (4 bar), που εξυπηρετούν οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις.

Δίκτυα μέσης πίεσης έχουν αναπτυχθεί και συνεχίζουν να αναπτύσσονται σε Αττική, Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Βόλο, Οινόφυτα, Θήβα, ευρύτερη περιοχή Χαλκίδας, Λαμία, Πλατύ Ημαθίας, Κατερίνη, Κιθκίς, Σέρρες, Δράμα, Ξάνθη, Καβάλα, Αλεξανδρούπολη, Κομοτηνή.

Δίκτυα χαμηλής πίεσης έχουν αναπτυχθεί και συνεχίζουν να αναπτύσσονται σε Αττική, Θεσσαλονίκη, Λάρισα, Βόλο, Οινόφυτα, Κιθκίς, Ξάνθη, Κομοτηνή. Η ΔΕΠΑ θα παραχωρήσει τη χρήση αυτών των δικτύων σε νέες Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) που θα συσταθούν.

## 4.3

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

---

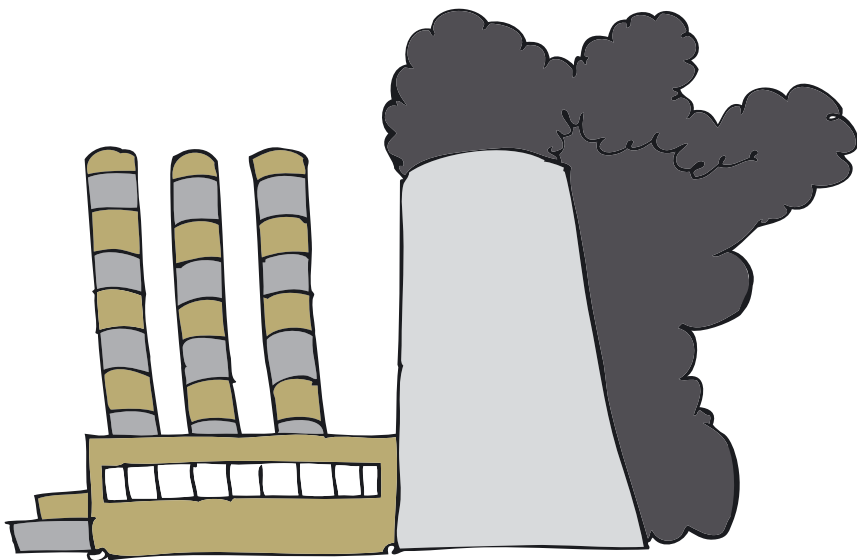
Πέρα από τη συμβολή μέτρων, όπως η ενίσχυση των μηχανισμών ελέγχων στις βιομηχανίες για την τήρηση των όσων ισχύουν μέχρι σήμερα, για παράδειγμα την ενίσχυση της λειτουργίας της Ειδικής Υπηρεσίας Επιθεωρητών Περιβάλλοντος για τον έλεγχο της εφαρμογής των περιβαλλοντικών όρων, η επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος από τις βιομηχανικές και βιοτεχνικές εκπομπές αναμένεται να περιοριστεί σημαντικά με την ισχύ νέων διατάξεων αλλά και την εγκατάσταση και λειτουργία εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας.

Οι προοπτικές σημαντικής μείωσης της συνεισφοράς των βιομηχανικών εκπομπών στην ατμοσφαιρική ρύπανση για τη χώρα μας βασίζονται σε δύο κύριους άξονες:

- Την ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία και εφαρμογή της νέας οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Βιομηχανικές Εκπομπές - Industrial Emissions Directive IED, IPCC Directive - που αναμένεται να ψηφιστεί εντός του 2010.
- Την παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - ΑΠΕ.

Κατά τη νέα οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Βιομηχανικές Εκπομπές, όλα τα νέα εργοστάσια θα πρέπει να προσαρμοστούν και να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές για νέες εγκαταστάσεις. Όλες οι εγκαταστάσεις επιτρέπεται να λειτουργούν μόνο εάν διαθέτουν άδεια η οποία περιλαμβάνει τις τιμές των ορίων εκπομπής (Emission Limit Values, ELVs) αυστηρά σε συμφωνία με τα όρια-επίπεδα εκπομπών που συνδέονται με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (Best Available Techniques Associated Emission Levels, BATAELs). Τα όρια των εκπομπών που συνδέονται με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές συγκράτησης ρύπων θα ισχύσουν από το 2016 και είναι πολύ χαμηλότερα από τα ισχύοντα σήμερα.

Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ αναμένεται να οδηγήσει σε **μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των βασικών ρύπων**, να εκμεταλλευτεί τις τοπικές και αποκεντρωμένες πηγές ενέργειας και να παρακινήσει τις βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας.





# 5

## Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης



## 5.1

### ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

---

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάστηκαν ήδη οι βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι κατά κατηγορία, εστιάζοντας στις πηγές προέλευσής τους και στις επιπτώσεις τους. Στην παράγραφο αυτή θα συνοψίσουμε τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία.

Τα **μέρη του σώματος** που συνήθως αποθηκεύουν ουσίες που εισέρχονται στον οργανισμό είναι το αίμα, η ουρία, οι μαλακοί ιστοί, τα μαλλιά, τα δόντια και τα οστά. Το αίμα και η ουρία επιτρέπουν γρηγορότερη αποβολή των ουσιών σε σχέση με τους μαλακούς ιστούς, τα μαλλιά, τα δόντια και τα οστά. Το ανθρώπινο σώμα αποβάλλει τις ξένες-άχρηστες ουσίες σε διάστημα λίγων ωρών έως μερικών ημερών, ή μπορεί να απαιτηθεί πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα - μέχρι και μερικά χρόνια.

Συσσώρευση στον ανθρώπινο οργανισμό προκύπτει όταν ο ρυθμός αποθήκευσης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αποβολής, και μπορεί να αναστραφεί όταν μειωθούν οι ποσότητες των εισερχόμενων ουσιών.

Η κύρια λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος είναι να τροφοδοτεί με οξυγόνο το αίμα και να αποβάλλει διοξείδιο του άνθρακα από τον οργανισμό. Οι αέριοι ρύποι εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό κύρια από την αναπνευστική οδό. Οι επιπτώσεις των εισπνεόμενων ρύπων στην υγεία εξαρτώνται σημαντικά από την περιοχή του αναπνευστικού όπου αυτοί φθάνουν. Έτσι, όπως ήδη είδαμε στο κεφάλαιο 1, τα αέρια μεταφέρονται χωρίς εμπόδια στους πνεύμονες και από εκεί στο αίμα, ενώ τα σωματίδια κατεισδύουν σε διάφορα μέρη του αναπνευστικού, ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο, δηλαδή το μέγεθός τους. Ανάλογα με τη σύσταση των σωματιδίων, οι επιπτώσεις είναι σοβαρότερες, όπως στις περιπτώσεις των τοξικών μετάλλων, π.χ. μολύβδου, και των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων (ΠΑΥ), ή λιγότε-

ρο σοβαρές, όπως στις περιπτώσεις ανόργανης σκόνης. Για τα αέρια, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η διαλυτότητα των μορίων του αερίου στις διάφορες περιοχές του αναπνευστικού. Τα αέρια υψηλής διαλυτότητας, όπως το SO<sub>2</sub>, απορροφώνται στους ανώτερους αεραγωγούς, ενώ τα λιγότερο διαλυτά αέρια, όπως το NO<sub>2</sub> και το O<sub>3</sub>, μπορούν να εισχωρήσουν στους πνεύμονες. Τα ερεθιστικά αέρια επηρεάζουν τις απολήξεις των νεύρων στα τοιχώματα του αναπνευστικού, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αντιδράσεις όπως βήχας, φτέρνισμα και αναπνευστικές δυσκολίες. Τα αέρια υψηλής διαλυτότητας αποβάλλονται μέσω βιοχημικών διεργασιών ή διαχέονται στο κυκλοφορικό σύστημα. Οι κυριότερες επιπτώσεις στην υγεία από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί<sup>37</sup>.

**37.** Ζιώμας Ι., 2004. Επιπτώσεις των αερίων ρύπων στους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς και στα υλικά, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Δ', Διάθεση αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, ΕΑΠ Ρεμουντάκη Ε., 2004. Η σημασία της παρουσίας των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Γ', Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ

ΡΥΠΟΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
<b>SO<sub>2</sub></b>	Αναπνευστικά νοσήματα, φλεγμονές των αναπνευστικών οδών, αύξηση ευαισθησίας πνευμόνων σε πνευμονικό οίδημα, επιδείνωση χρόνιων καρδιακών νοσημάτων
<b>NO<sub>2</sub></b>	Ερεθισμοί αναπνευστικού, αύξηση ευπάθειας σε αναπνευστικές λοιμώξεις
<b>O<sub>3</sub></b>	Μείωση της πνευμονικής λειτουργίας, βήχας, αυξημένες κρίσεις άσθματος
<b>CO</b>	Μείωση ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου από το κυκλοφορικό, κεφαλαλγίες, ζάλη, εξασθένηση απόδοσης σε εργασία, επιδείνωση καρδιαγγειακών νοσημάτων
<b>Pb</b>	Επιπτώσεις στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, αναιμίες, νεφροπάθειες, αύξηση αρτηριακής πίεσης, προβλήματα γονιμότητας και προβλήματα στις εγκύους
<b>AΣ<sub>10</sub> AΣ<sub>2,5</sub></b>	Αναπνευστικά νοσήματα, φλεγμονές των αναπνευστικών οδών, αύξηση ευαισθησίας πνευμόνων σε πνευμονικό οίδημα, επιδείνωση χρόνιων καρδιακών νοσημάτων Μεταφορά τοξικών και ραδιενεργών ρύπων στον οργανισμό (βαρέων μετάλλων, ΠΟΥ κ.λπ.)
<b>Βενζόλιο</b>	Καρκίνος του αίματος, σοβαρές ασθένειες του αίματος-λευχαιμίες
<b>ΠΟΕ - αλδεϋδες</b>	Ερεθισμός βλεννογόνων και δέρματος, ορισμένες ΠΟΕ καρκινογόνες



Όπως όλοι γνωρίζουμε, οι ζωντανοί οργανισμοί είναι πολύ ευάλωτοι ακόμη και σε μικρές μεταβολές των αβιοτικών παραμέτρων, όπως είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, η επάρκεια και η σύσταση του νερού κ.λπ. Για παράδειγμα, οργανισμοί και είδη που ζουν σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, σε σχετικά μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας, έξω από το εύρος αυτό, αποκρίνονται με «στρες» που αντανακλά στις διάφορες λειτουργίες τους. Η προσαρμογή των ειδών σε νέες συνθήκες είναι, πολλές φορές, πολύ αργή ή και αδύνατη και συχνά οδηγεί σε αλληλαγές στη βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων. Στα φυτικά είδη των οικοσυστημάτων αλλά και στις καλλιέργειες οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να είναι άμεσα ορατές, όπως η ασθενική όψη των φύλλων και η αραίωση του φυλλώματος, μερικές ή και ολικές νεκρώσεις του φυτικού ιστού των φύλλων, αλλά και ολική νέκρωση του φυτού. Επίσης, ορατές και μη επιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί ως μεταβολές των κύκλων των φυτών στο μεταβολισμό τους και στη φωτοσυνθετική τους ικανότητα και, τέλος, περιορισμοί στην ανάπτυξή τους και ως μεταβολές της αναπαραγωγικής διαδικασίας.

Όπως ήδη είδαμε στο κεφάλαιο 1, οι σημαντικότεροι αέριοι ρύποι που έχουν τοξική επίδραση στα φυτικά είδη είναι τα οξείδια του θείου και του азώτου και το όζον.

### Η όξινη βροχή

Θα προσπαθήσουμε εδώ να δώσουμε με σύντομο και κατανοητό τρόπο την έννοια του φαινομένου της όξινης βροχής, διότι το φαινόμενο αυτό θεωρείται το σπουδαιότερο ως προς τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτικά είδη. Τα οξείδια του θείου και του азώτου είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής.

Η οξύτητα του νερού της βροχής καθορίζεται από την τιμή του pH, που είναι η παράμετρος καθορισμού της περιεκτικότητας των ιόντων υδρογόνου ( $H^+$ ) σε ένα υδατικό διάλυμα.

Όσο πιο όξινο είναι ένα διάλυμα, τόσο μικρότερο είναι το pH του. Αντίστοιχα, όταν υπάρχει πλεόνασμα ιόντων υδροξυλίου, το διάλυμα είναι βασικό και το pH του είναι μεγαλύτερο από 7. Η κλίμακα του pH παίρνει τιμές από 0 έως 14. Τα όξινα διαλύματα έχουν pH μικρότερο του 7, και τα βασικά μεγαλύτερο του 7. Μια μεταβολή pH κατά μία μονάδα σημαίνει μεταβολή της οξύτητας κατά 10 φορές!

Επιστρέφοντας, τώρα, στον ορισμό της όξινης βροχής, θα πρέπει πρώτα να πούμε ότι το νερό μιας «καθαρής-μη ρυπασμένης» βροχής έχει  $\text{pH}=5,6$ , λόγω της διάλυσης σε αυτό του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε διάφορα σημεία του πλανήτη, το pH της βροχής έχει φθάσει σε πολύ μικρότερες τιμές από αυτή του 5,6 και, συχνά, πιο μικρές και από το 4. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως όξινη βροχή και οφείλεται κύρια στα οξείδια του θείου και του азώτου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά τις διάφορες καύσεις ορυκτών καυσίμων, είτε αυτές είναι βιομηχανικές είτε από μηχανές εσωτερικής καύσης από τροχοφόρα. Η περαιτέρω οξείδωση του διοξειδίου του θείου και του азώτου σε θειικά και νιτρικά ιόντα και η διάλυσή τους στα σταγονίδια των νεφών και της βροχής έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του pH της βροχής σε τιμές που μπορεί να φτάσουν το 4 ή και μικρότερες.

Η φυσική βλάβη και τα καλλιεργημένα φυτά επηρεάζονται από τις όξινες βροχές, κύρια με τους παρακάτω τρόπους:

- Αλλοιώνεται η προστατευτική κηρώδης επιφάνεια των φύλλων και μειώνεται η αντίστασή τους σε ασθένειες.
- Αναστέλλεται η βλάστηση και η αναπαραγωγή.
- Επιταχύνεται η διάβρωση του εδάφους και η μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων.
- Στοιχεία του εδάφους όπως το αργίλιο, που πάνω από ορισμένη ποσότητα είναι τοξικό για τα φυτά, γίνονται περισσότερο διαλυτά από το νερό της βροχής που έχει μεωμένη τιμή pH. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις αργιλίου εμποδίζουν την πρόσληψη άλλων απαραίτητων για τα φυτά θρεπτικών ουσιών.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στα δάση είναι καταστροφικές. Οι πρώτες καταστροφές από όξινη βροχή διαπιστώθηκαν στη Γερμανία, στο Μέλανα Δρυμό, τη δεκαετία του 1970. Προβλήματα οξίνισης των φυσικών νερών που καταλήγουν οι όξινες βροχές, π.χ. των λιμνών, έχουν παρατηρηθεί σε πολλά σημεία του πλανήτη, με επιπτώσεις σε υδρόβιους οργανισμούς.

Στη χώρα μας, στις περιοχές της Κοζάνης και της Πτολεμαΐδας, λόγω της λειτουργίας των ατμοηλεκτρικών σταθμών, έχουν παρατηρηθεί τοπικά προβλήματα οξίνισης των εδαφών και των νερών. Ειδικά για τη χώρα μας, τα περισσότερα μεσογειακά φυτά παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στις βλάβες που προκαλούν οι αέριοι ρύποι και η όξινη βροχή. Στην Ελλάδα, καταστροφές και ξήρανση ελατοδασών έχουν παρατηρηθεί στα δάση της Πάρνηθας, του Μαινάλου, του Ταυγέτου κ.λπ., κατά τις δεκαετίες 1980-1990. Σύμφωνα με Έλληνες επιστήμονες, οι κύριοι παράγοντες καταστροφής των ελατοδασών είναι η ξηρασία και τα φτωχά διαβρωμένα εδάφη<sup>38</sup>. Τέλος, το όζον, λόγω του ότι είναι ισχυρό οξειδωτικό, καταστρέφει τους ιστούς των φυτικών ειδών.

38. Γεωργιάδης Θ., 2004. Όξινη βροχή, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Δ', Διάθεση αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, ΕΑΠ

## 5.3

### ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Για το δομημένο περιβάλλον και τα υλικά, οι κυριότεροι ρύποι που ευθύνονται για τη διαβρωτική και οξειδωτική τους δράση είναι το διοξείδιο του θείου και το όζον. Ειδικότερα για τις μεταλλικές επιφάνειες και τα υλικά που περιέχουν σίδηρο και άλλα μέταλλα, όπως π.χ. ψευδάργυρο, οξειδώνονται με την έκθεσή τους σε ατμόσφαιρα που περιέχει διοξείδιο του θείου, ενώ βραδύτερη είναι η προσβολή αντικειμένων από αλουμίνιο.

#### ΠΑΡΘΕΝΩΝΑΣ

Η καταστροφή των μνημείων του Παρθενώνα οφείλεται στις αυξημένες ποσότητες θείου που περιείχε το μαζούτι που χρησιμοποιούσαν οι κεντρικές θερμάνσεις αλλά και η βιομηχανία. Από το 1986 επιβλήθηκε μια σειρά μέτρων που καθόρισαν τις προδιαγραφές λειτουργίας των κεντρικών θερμάνσεων και επέβαλαν τη μείωση του περιεχομένου θείου στα καύσιμα.

Για τις μαρμάρινες επιφάνειες, αλλά και γι' αυτές που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο, το διοξείδιο του θείου, κυρίως υπό την οξειδωμένη μορφή τωνθειικών ιόντων και διαλυτοποιημένο στις σταγόνες της βροχής, προκαλεί γυψοποίηση, δηλαδή μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου σε θειικό ασβέστιο. Το θειικό ασβέστιο είναι πολύ πιο ευδιάλυτο στο νερό απ' ό,τι το ανθρακικό, με αποτέλεσμα την επιφανειακή διάβρωση, το θρυμματισμό και την καταστροφή των λεπτομερειών στα γλυπτά και στα αρχαία μνημεία.

Το όζον, λόγω του ότι είναι ισχυρότερο οξειδωτικό από το οξυγόνο του αέρα, προκαλεί ταχύτερη γήρανση στα ελαστικά και ιδιαίτερα σε αυτά που περιέχουν καουτσούκ. Οι επιφάνειες των ελαστικών ρηγματώνονται ταχύτερα, χάνουν την ελαστικότητά τους και γίνονται πιο εύθραυστες.

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

---

## 5.4

Στο κεφάλαιο 2, στην παράγραφο 2.6, παρουσιάστηκαν με αρκετές λεπτομέρειες τα φαινόμενα πλανητικής κλίμακας και οι επιπτώσεις στο κλίμα από την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω της εντατικής χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Το διοξείδιο του άνθρακα, μεταξύ των άλλων αερίων του θερμοκηπίου, αν και δεν θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και αποτελεί το κύριο προϊόν της τέλει καύσης όλων των συστατικών των ορυκτών καυσίμων, ευθύνεται για την κλιματική αλλαγή, η οποία είναι, πλέον, εμφανής.

Θα συνοψίσουμε εδώ τις κυριότερες επιπτώσεις από την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου:

- Ανύψωση της στάθμης των θαλασσών με πολυαπλές συνέπειες για τα οικοσυστήματα αλιείας και για τις κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες των ανθρώπινων πληθυσμών.
- Μειώσεις των εκτάσεων που καλύπτονται με χιόνι και των παγετώνων, με πολυαπλές αντίστοιχες συνέπειες τόσο για τα οικοσυστήματα όσο και για τους ανθρώπινους πληθυσμούς.
- Πολυάριθμες αλλαγές σε άλλες παραμέτρους του κλίματος, σε ηπειρωτική, περιοχική και κλίμακα λεκάνης ωκεανού, π.χ. στις βροχοπτώσεις.
- Αλλαγές στη συχνότητα και την ένταση κάποιων ακραίων καιρικών φαινομένων. Τέτοια παραδείγματα είναι: Η αύξηση της συχνότητας των έντονων βροχοπτώσεων ή της αναλογίας των έντονων βροχοπτώσεων ως προς τη συνολική βροχόπτωση για πολλές περιοχές. Η αύξηση στην ένταση των τροπικών κυκλώνων στο Β. Ατλαντικό.
- Περαιτέρω μείωση του διαθέσιμου γλυκού νερού (π.χ. για την περιοχή της Μεσογείου).
- Αλλαγή και ενίσχυση του ρυθμού ερημοποίησης των εδαφών.

Εδώ αξίζει να σταθούμε λίγο στους μηχανισμούς που έχει η ίδια η φύση για να αναστέλλει ή να αναχαιτίζει την πρόοδο κάποιων φαινομένων. Τέτοιοι μηχανισμοί αναφέρονται, συχνά, υπό το γενικό όρο της «φυσικής απόσβεσης» (natural attenuation). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο ρόλος των αερολυμάτων στη διαμόρφωση του κλίματος. Θα δούμε παρακάτω ότι όταν εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, το αποτέλεσμα είναι η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα! Τα αερολύματα στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, την τροπόσφαιρα, επηρεάζουν το κλίμα με δύο τρόπους:

- **Άμεσα**, μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας.
- **Έμμεσα**, μεταβάλλοντας τη διάρκεια ζωής και τις οπτικές ιδιότητες των νεφών.

Ορισμένα αερολύματα σκεδάζουν-ανακλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο επιστρέφει στο διάστημα από το σύστημα πλανήτη-ατμόσφαιρα (λευκαύγεια albedo). Άρα, όταν υπάρχουν στην ατμόσφαιρα τέτοια σωματίδια σε μεγάλες συγκεντρώσεις, φθάνει στην επιφάνεια της γης λιγότερη ακτινοβολία και, επομένως, αναμένονται μικρότερες θερμοκρασίες στην ατμόσφαιρα. Αυτός είναι ο **άμεσος τρόπος** με τον οποίο τα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα.

Τα σωματίδια, ιδιαίτερα αυτά που είναι υγροσκοπικά και έχουν αυξημένη διαλυτότητα στο νερό, όπως, για παράδειγμα, αυτά που περιέχουν ανόργανα άλατα, όπως χλωριούχο νάτριο, θειικό νάτριο, χλωριούχο μαγνήσιο κ.λπ., χρησιμεύουν ως πυρήνες συμπύκνωσης στη δημιουργία των νεφών (Cloud Condensation Nuclei, CCN). Αυξημένες συγκεντρώσεις τέτοιων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα οδηγούν σε αυξημένη νεφοκάλυψη. Η αυξημένη συγκέντρωση πυρήνων συμπύκνωσης σημαίνει αυξημένο αριθμό σταγονιδίων στα νέφη, με αποτέλεσμα το μέγεθος των σταγονιδίων να μειώνεται και, επομένως, να καθυστερεί η εκδήλωση βροχόπτωσης και να παρατείνεται ο χρόνος ζωής των νεφών στην ατμόσφαιρα.

Τα νέφη ανακλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας [αυξημένη λευκαύγεια (albedo)], συνεισφέροντας και αυτά σε μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Αυτός είναι ο **έμμεσος τρόπος** με τον οποίο τα αερολύματα είναι δυνατόν να επηρεάσουν το κλίμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο μπορούν να επηρεάσουν τα αερολύματα το κλίμα αποτελούν τα θειικά αερολύματα. Τα σωματίδια αυτά χαρακτηρίζονται από πολύ μικρά μεγέθη, της τάξης του 0,1 μm. Τα οξείδια του θείου στην ατμόσφαιρα εκπέμπονται από δύο κύριες πηγές:

1. Τis ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στο Βόρειο Ημισφαίριο εκτιμάται ότι το 90% των θειικών αερολυμάτων προέρχεται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων.
2. Τis ηφαιστειακές εκρήξεις.

Σχετικά με τα θειικά αερολύματα που προέρχονται από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, αυτά έχουν το χαρακτηριστικό ότι μπορούν να φθάσουν σε μεγάλη ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα. Μεγάλες ποσότητες από αυτά μπορεί να φθάσουν στη στρατόσφαιρα. Τα αερολύματα στη στρατόσφαιρα έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής. Αυτό ευνοείται από το μικρό μέγεθος των σωματιδίων (περίπου 0,1 μm), τη σταθερότητα της στρατόσφαιρας και την απουσία κατακρημνίσεων. Έτσι, παραμένουν σε αιώρηση στη στρατόσφαιρα επί μήνες ή και χρόνια πριν από την τελική κατακρήμνισή τους στην επιφάνεια της γης. Τα αερολύματα στη στρατόσφαιρα αλληλεπιδρούν με την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τα σωματίδια, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα και μείωση του ποσού ακτινοβολίας το οποίο είναι διαθέσιμο για την τροπόσφαιρα. Επιπλέον, τα αερολύματα αντανακλούν μέρος της ακτινοβολίας στο διάστημα, συνεισφέροντας στη μείωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι το αποτέλεσμα της παρουσίας των θειικών αερολυμάτων τόσο στην τροπόσφαιρα όσο και στη στρατόσφαιρα είναι **η μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα**.

## Η ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΕΚΡΗΞΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΤΟΥΜΠΟ

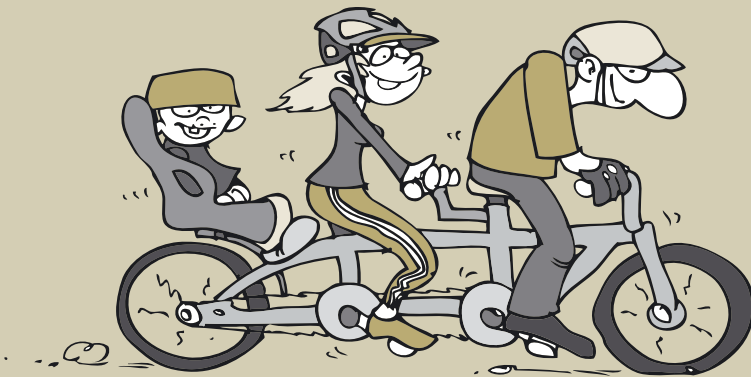
Τον Ιούνιο του 1991, η ηφαιστειακή έκρηξη του Πινατούμπο στις Φιλιππίνες θεωρήθηκε το σπουδαιότερο συμβάν του 20ού αιώνα το οποίο επηρέασε το πλανητικό κλίμα! Εκτιμάται ότι κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων του Πινατούμπο, 20-30 μεγατόνοι θειικών αερολυμάτων έφθασαν στη στρατόσφαιρα σε ύψος περίπου 19 km. Η παρουσία της ύλης από τις εκρήξεις, με την επίδραση της πλανητικής κυκλοφορίας των ανέμων, έγινε αισθητή και στα δύο Ημισφαίρια. Επιστήμονες της NASA (στο Langley Research Center) κατέγραψαν ότι κατά τη διάρκεια λίγων μηνών μετά την έκρηξη, το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα από το σύστημα γη-ατμόσφαιρα αυξήθηκε κατά 3,8%. Την επόμενη χρονιά, η μέση θερμοκρασία στον πλανήτη ήταν κατά 0,6°C μικρότερη από αυτή της χρονιάς που προηγήθηκε της έκρηξης. Πιστεύεται ότι η ηφαιστειακή έκρηξη του Πινατούμπο διέκοψε την τάση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία παρατηρείται ως αποτέλεσμα της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σήμερα, γίνεται προσπάθεια από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα για την ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς των αερολυμάτων στην εξέλιξη του κλίματος.



# 6

Έλεγχος  
των εκπομπών  
ρύπανσης

Τεχνολογίες  
αντιρύπανσης





## έλεγχος αερίων ρύπων από πηγές εκπομπών στηρίζεται σε τρεις κεντρικούς άξονες-φιλοσοφίες:

- 1.** Χρήση και επεξεργασία πριν από τη χρήση πρώτων υλών και υλικών που εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας αποβλήτων και, ειδικότερα, αερίων αποβλήτων. Παράδειγμα είναι η καταλυτική αποθείωση του πετρελίου και των παραγώγων του στα διυλιστήρια πριν τη διάθεσή τους για διάφορες χρήσεις.
- 2.** Τεχνολογίες στη λειτουργία μηχανών και διεργασιών (π.χ. δομή παραγωγικής διαδικασίας και τεχνολογίες παραγωγής), που ελαχιστοποιούν κατά το δυνατόν τη σπατάλη υλικών και τη δημιουργία αποβλήτων και, ειδικότερα, αερίων αποβλήτων.
- 3.** Εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης αερίων ρύπων και σωματιδίων μετά το σχηματισμό τους, με στόχο τον καθαρισμό του αερίου ρεύματος από αυτούς πριν την απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα.

Πολλές φορές, το συνολικό αποτέλεσμα προκύπτει από το συνδυασμό των τριών παραπάνω αξόνων. Για παράδειγμα, για να ελαχιστοποιήσουμε τις αέριες εκπομπές από διαδικασίες καύσης, θα πρέπει να επιδιώκεται ταυτόχρονα η χρήση καυσίμων βέλτιστης ποιότητας, η χρήση καυστήρων ειδικών προδιαγραφών με ρύθμιση των συνθηκών-παραμέτρων καύσης και η επεξεργασία των αερίων της καύσης με Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ).

Για να παρουσιάσουμε τα βασικότερα στοιχεία σχετικά με τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα και τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών, χρειάζεται να λάβουμε υπόψη ότι θα πρέπει να διακρίνουμε τις κατηγορίες των πηγών εκπομπής σε κινητές και σταθερές. Επίσης, είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε δύο μεγάλες κατηγορίες εκπομπών: **τις αέριες** και **τις σωματιδιακές**, επειδή οι βασικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται διαφέρουν ουσιαστικά στις αρχές τους.

Οι γενικές **τεχνολογίες επεξεργασίας αέριων ρύπων** στηρίζονται σε τρεις κατηγορίες μεθόδων-τεχνικών:

- Προσρόφησης του αέριου ρύπου ή των ρύπων-στόχων σε στερεό προσροφητή από τον οποίο συγκρατούνται οι αέριοι ρύποι και, έτσι, το αέριο ρεύμα απαηλλάσσεται από αυτούς.
- Απορρόφησης και μεταφοράς του αέριου ρύπου ή των ρύπων σε ρεύμα υγρού σε ειδικούς αντιδραστήρες που λέγονται πύργοι απορρόφησης ή πηλυντήρια αερίων.
- Καύσης των ρύπων σε ειδικούς καυστήρες.

Ειδικά για τα οξειδία του αζώτου που σχηματίζονται θερμικά κατά τις διαδικασίες καύσης, υπάρχουν δύο κύριες μεθοδολογίες-τεχνολογίες: αυτές που δεν στηρίζονται στη δέσμευσή τους μετά το σχηματισμό τους, αλλά στη ρύθμιση των συνθηκών καύσης, έτσι ώστε ο σχηματισμός τους να αποτρέπεται κατά το δυνατό μεγαλύτερο ποσοστό, και αυτές που περιλαμβάνουν την καταλυτική αναγωγή των οξειδίων του αζώτου σε αέριο άζωτο.

**Για τα σωματίδια**, οι τεχνολογίες που είναι κοινές με αυτές των αερίων είναι αυτές της προσρόφησης σε υγρή φάση σε πηλυντήρια αερίων ή πύργους απορρόφησης. Επιπλέον, άλλες τεχνολογίες για τη δέσμευση των σωματιδίων και την απαλληγή των αέριων ρευμάτων από αυτά στηρίζονται στις ιδιότητές τους ως στερεών, δηλαδή τη βαρύτητα και τη φυγόκεντρο δύναμη, όπως π.χ. στους κυκλώνες. Επίσης, σημαντικότερες τεχνολογίες στηρίζονται στην κατακράτηση των σωματιδίων μετά από τη διέγερση του αερίου ρεύματος μέσα από διηθητικό μέσο, π.χ. ύφασμα, όπως στα σακκόφιλτρα. Τέλος, όπως θα δούμε σε επόμενο υποκεφάλαιο, τα σωματίδια μπορούν με κατάλληλη τεχνολογία να αποκτήσουν ηλεκτρικό φορτίο και λόγω αυτού να κινηθούν και να αποφορτιστούν σε γειωμένες επιφάνειες-πλάκες συλλογής, όπως γίνεται στα ηλεκτροστατικά φίλτρα ή ηλεκτρόφιλτρα (H/Φ).

# 6.1

## ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

---

Όπως ήδη είδαμε στο κεφάλαιο 3, οι βασικοί ρύποι που εκπέμπονται από κινητές πηγές είναι το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), οι υδρογονάνθρακες ( $\text{HC}$ ) και τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Τα περισσότερα αυτοκίνητα σήμερα λειτουργούν με τετράχρονα βενζινοκίνητα μηχανές. Η καύση της βενζίνης, που περιέχει παραφινικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες, γίνεται με ελεγχόμενη ποσότητα αέρα. Τα προϊόντα της τέλει καύσης είναι διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και νερό. Για την τέλεια καύση του καυσίμου μπορεί να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα του αέρα ή, όπως λέγεται, η στοιχειομετρική ποσότητα αέρα. Η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) στις μηχανές εσωτερικής καύσης επηρεάζεται σημαντικά από το λόγο αέρα προς καύσιμο ή το συντελεστή λ. Η χρήση «φτωχού» μίγματος βοηθά στην ολοκλήρωση της καύσης. Αντίθετα, αν στο μίγμα της καύσης δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο, τότε τα καυσαέρια θα περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυτους υδρογονάνθρακες.

Τα οξειδία του αζώτου παράγονται από την αντίδραση του οξυγόνου του αέρα με το άζωτο τα οποία θερμαίνονται στη θερμοκρασία της καύσης. Η παραγωγή των οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση, το χρόνο παραμονής στο θάλαμο της καύσης και τη συγκέντρωση των αντιδρώντων. Η μεγαλύτερη ποσότητα οξειδίων του αζώτου σχηματίζεται όταν επικρατούν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στη μηχανή. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται όταν ο λόγος αέρα-καυσίμου είναι κοντά στο στοιχειομετρικό. Θέλουμε, λοιπόν, μίγμα πλούσιο σε αέρα για να μειώσουμε το μονοξείδιο του άνθρακα και τους άκαυτους υδρογονάνθρακες, δηλαδή «φτωχό» μίγμα. Σε αυτήν, όμως, την περίπτωση, ευνοείται ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου! Εδώ έγκειται και η δυσκολία η οποία προκύπτει σχετικά με τον έλεγχο των εκπομπών από τα αυτοκίνητα.

Στο πρόβλημα αυτό δόθηκε λύση με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των **καταλυτικών μετατροπών**. Στους καταλυτικούς μετατροπείς γίνεται ταυτόχρονα:

- Οξειδωση του μονοξειδίου του άνθρακα και των άκαυτων υδρογονανθράκων προς διοξείδιο του άνθρακα.
- Αναγωγή των οξειδίων του αζώτου προς άζωτο.

Οι αντιδράσεις αυτές γίνονται σε μεγάλο ποσοστό στους λεγόμενους τριοδικούς καταλυτικούς μετατροπείς. Ο όρος τριοδικός αναφέρεται στις τρεις κύριες καταλυτικές δράσεις:

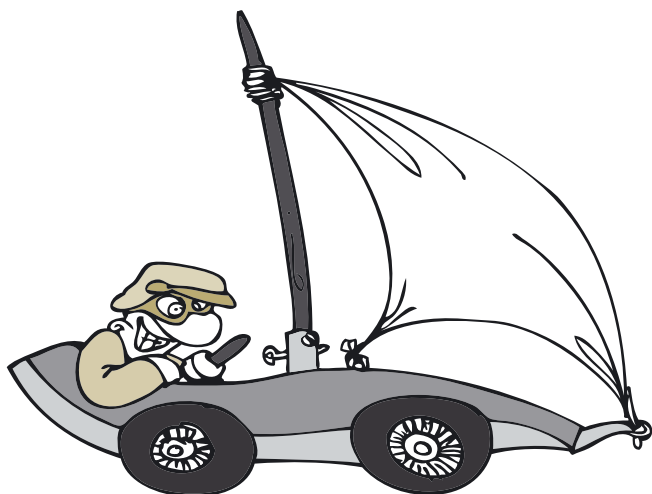
1. Οξειδωση-καύση του μονοξειδίου του άνθρακα
2. Οξειδωση-καύση των υδρογονανθράκων και
3. Αναγωγή των οξειδίων του αζώτου.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, οι σημερινοί κινητήρες αυτοκινήτων λειτουργούν με αυστηρή ρύθμιση του συντελεστή λ σε πολύ μικρό εύρος, χάρη στην προσθήκη ηλεκτρονικών αισθητήρων.

**Κύριες απαιτήσεις των καταλυτικών μετατροπών** οι οποίες πληρούνται από τα σημερινά συστήματα είναι:

- Επιτυγχάνουν τουλάχιστον 90% καταστροφή των CO, HC και NO<sub>x</sub>, με τη μικρότερη δυνατή μάζα και όγκο του καταλύτη.
- Αρχίζουν τις αντιδράσεις καταστροφής των ρύπων σε όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία (θερμοκρασία έναυσης). Οι καταλύτες δεν επιτυγχάνουν τις αντιδράσεις έως ότου θερμανθούν (από τα καυσαέρια) στη θερμοκρασία έναυσης, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 300 και 350°C. Συνεπώς, είναι ανενεργοί κατά τη διάρκεια της ψυχρής εκκίνησης, όταν παράγονται οι μεγαλύτερες ποσότητες των ρύπων.
- Έχουν ικανοποιητική απόδοση για 80.000-120.000 χλμ., κάτω από δύσκολες συνθήκες λειτουργίας.
- Έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν τη μικρή ποσότητα θείου της βενζίνης σε SO<sub>2</sub> αντί H<sub>2</sub>S, αλλά να μην οξειδώνουν το SO<sub>2</sub> προς SO<sub>3</sub>.

Παρόλη την ικανοποιητική απόδοση των καταλυτικών μετατροπέων, ο μεγάλος αριθμός των οχημάτων στα αστικά κέντρα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για ολοένα και καθαρότερο αέρα και οι απαιτήσεις για ολοένα και μεγαλύτερη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, οδηγούν όχι μόνο σε προσπάθειες περαιτέρω βελτιώσεων των καταλυτικών συστημάτων, αλλά και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που θα συμβάλλουν σημαντικά τόσο στη μείωση των εκπομπών, όσο και στη μείωση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων για τις ανάγκες των μετακινήσεων.



## ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

# 6.2

Σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είδαμε στο κεφάλαιο 3 ότι εκτός από τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, δύο είναι τα κύρια προβλήματα: τα αιωρούμενα σωματίδια και κύρια η ιπτάμενη τέφρα και το διοξείδιο του θείου.

Ο έλεγχος των εκπομπών και οι τεχνολογίες αντιρρύπανσης μπορούν να διακριθούν σε δύο **κατηγορίες**:

- μέθοδοι βελτιστοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας που συμβάλλουν έμμεσα αλλά σημαντικά στη μείωση των εκπομπών.
- μέθοδοι στοχευμένες στη δέσμευση των ρύπων στην πηγή.

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας αφορούν την αύξηση του βαθμού απόδοσης. Οι σύγχρονοι ανθρακικοί σταθμοί μπορούν να επιτύχουν βαθμό απόδοσης υψηλότερο του 45%, ενώ για την παραγωγή 1 kWh καταναλώνουν το 1/3 της ποσότητας άνθρακα, αναφορικά με το 1960. Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης συνεπάγεται μικρότερη κατανάλωση καυσίμου, χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και μικρότερο κόστος ανά παραγόμενη kWh<sup>39</sup>.

Στους σημερινούς σύγχρονους ΑΗΣ περιλαμβάνονται νέες καθαρές τεχνολογίες παραγωγής άνθρακα, οι οποίες εξασφαλίζουν υψηλές αποδόσεις<sup>40</sup>. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες αποκαλούνται «καθαρές» (Clean Coal Technologies - CCT), η αλήθεια είναι,

39. Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) / Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), 2008. Σχέδιο ερευνητικής στρατηγικής ατζέντας της τεχνολογικής πλατφόρμας ενέργειας: «Ο δρόμος προς σταθμούς μηδενικών ρύπων». Κωδικός έργου: 04-ΠΠΚ06, Ενέργεια Ε1: Δημιουργία τεχνολογικής πλατφόρμας στα πλαίσια του πόλου καινοτομίας Δυτικής Μακεδονίας - ΣυνΕνέργεια - Πτολεμαΐδα, Σεπτέμβριος 2008, <http://www.lignite.gr/events/SRA-draft.pdf>

40. Κακαράς Εμμ., 2000. Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Εκδόσεις Fountas, 1η Έκδοση, Αθήνα

όμως, πως ακόμα και με τις καλύτερες τεχνολογίες, η καύση άνθρακα εξακολουθεί να παράγει μεγάλες ποσότητες αέριων ρύπων. Η πλέον δοκιμασμένη τεχνολογία στην κατεύθυνση αύξησης του βαθμού απόδοσης είναι η υπερκρίσιμη τεχνολογία κονιοποιημένου άνθρακα, η οποία μπορεί να επιτύχει αποδόσεις της τάξης του 43-45% για μονάδες τροφοδοτούμενες με λιθάνθρακα και 40-42% για λιγνιτικές. Επίσης, γίνονται προσπάθειες συνδυασμού των παραπάνω τεχνολογιών με τις τεχνολογίες Δέσμευσης & Υπόγειας Αποθήκευσης Άνθρακα.

Οι συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (γήρανση θερμοηλεκτρικών σταθμών και απομάκρυνση του σημείου λειτουργίας τους από το βέλτιστο, αυστηρότερη περιβαλλοντική νομοθεσία, ανάγκη για περιορισμό του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub>, κ.λπ.), έχουν δημιουργήσει τρεις, κυρίως, τάσεις σε σχέση με τους υπάρχοντες λιγνιτικούς σταθμούς<sup>41</sup>: Αντικατάσταση σταθμών, συνδυασμό με αεριοστρόβιλους και χρήση φυσικού αερίου, εκσυγχρονισμό υπαρχουσών μονάδων.

Στις περισσότερες από τις παραπάνω περιπτώσεις, επιτυγχάνουμε, μεταξύ των άλλων, και μείωση των σωματιδιακών εκπομπών. Π.χ. η βελτίωση του συστήματος καύσης μέσω της καλύτερης κονιοποίησης του λιγνίτη οδηγεί σε μείωση των ακαύστων στην τέφρα, ενώ η βελτιστοποίηση του προθερμαντήρα αέρα (περιορισμός των διαρροών αέρα) μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερες ταχύτητες καυσαερίων προς τα ηλεκτροστατικά φίλτρα, δηλαδή σε μεγαλύτερο χρόνο παραμονής τους σε αυτά και, άρα, σε μεγαλύτερη συγκράτηση σωματιδίων από αυτά<sup>42</sup>.

Για τον περιορισμό των εκπομπών ιπτάμενης τέφρας στην ηλεκτροπαραγωγή από λιγνιτικούς ΑΗΣ οι κύριες **μέθοδοι κατακράτησης** είναι:

41. Κακαράς Εμμ., ό.π.

42. Κακαράς Εμμ., ό.π.



## Κυκλώνες και πολυκυκλώνες

Η μέθοδος χρησιμοποιείται στα καυσαέρια. Τα καυσαέρια, μετά τον προθερμαντήρα αέρα με καυσαέρια, οδηγούνται στους κυκλώνες. Οι κυκλώνες είναι όργανα καθαρισμού αερίων από σωματίδια τα οποία αξιοποιούν τη φυγόκεντρο δύναμη που αναπτύσσεται από περιστρεφόμενο αέριο ρεύμα. Επιλέγονται όταν τα σωματίδια είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους, η συγκέντρωσή τους στο αέριο ρεύμα είναι μεγάλη και δεν απαιτείται μεγάλος βαθμός απόδοσης.

## Σακκόφιλτρα

Η μέθοδος χρησιμοποιείται στα καυσαέρια. Τα καυσαέρια, μετά τον προθερμαντήρα αέρα με καυσαέρια, οδηγούνται στα σακκόφιλτρα, όπου κατακρατείται η σκόνη. Η λειτουργία των σακκόφιλτρων βασίζεται στη διήθηση αερίων από «φίλτρα», δηλαδή πορώδεις δομές από ινώδη μέσα ή πορώδη υλικά τα οποία συγκρατούν τα σωματίδια όταν τα αέρια διέρχονται από αυτά. Τα βιομηχανικά φίλτρα έχουν εφαρμοστεί περισσότερο από οτιδήποτε άλλο στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Συνήθως, είναι στη μορφή κυλινδρικών σάκων και είναι κρεμασμένα σε πολλαπλές σειρές, ώστε να παρέχουν μεγάλη επιφάνεια για τη διέλευση του αέρα. Οι συνολικές τους αποδόσεις κυμαίνονται μεταξύ 99% και 99,99%. Σακκόφιλτρα επιλέγονται όταν απαιτούνται πολύ μεγάλες αποδόσεις, το στερεό που συλλέγεται μπορεί να αξιοποιηθεί και πρέπει να συλλεχθεί ξηρό, ο όγκος του αερίου είναι σχετικά μικρός και η θερμοκρασία σχετικά χαμηλή.

## Πληντήρια αερίων

Η μέθοδος χρησιμοποιείται στα καυσαέρια. Τα καυσαέρια, μετά τον προθερμαντήρα αέρα με καυσαέρια, οδηγούνται στα πληντήρια αερίων. Πληντήρια αερίων επιλέγονται όταν τα σωματίδια είναι μικρά, ο απαιτούμενος βαθμός απόδοσης είναι μεγάλος και πρέπει να απομακρυνθούν από το ρεύμα του αέρα αέρια και σωματίδια. Επιπλέον, όταν η ψύξη του αερίου είναι επιθυμητή και η υγρασία του αερίου δεν δημιουργεί πρόβλημα, καθώς και όταν τα αέρια είναι εύφλεκτα, τα πληντήρια αερίων αποτελούν ενδεδειγμένη λύση.

## Ηλεκτροστατικά Φίλτρα (Η/Φ)

Η μέθοδος χρησιμοποιείται στα καυσαέρια. Τα καυσαέρια, μετά τον προθερμαντήρα αέρα με καυσαέρια, οδηγούνται στα Η/Φ, που συνήθως έχουν αρκετά πεδία, στα οποία σταδιακά κατακρατούνται τα σωματίδια. Τα Η/Φ χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση πολύ μικρών σωματιδίων, ακόμα και διαμέτρου 1 μm ή και μικρότερης. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ως δεύτερη βαθμίδα καθαρισμού, μετά από αφαίρεση των μεγαλύτερων σωματιδίων (ιδιαίτερα όταν υπάρχει μεγάλο ρυπαντικό φορτίο). Ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο αποτελείται από εναλλιάξ διατεταγμένες πλάκες και πλάισια συρμάτων στα οποία εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση 40-85 kV, αναπτύσσοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα ισχυρότατο ηλεκτρικό πεδίο. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ηλεκτρική φόρτιση των σωματιδίων της τέφρας λόγω του αναπτυσσόμενου ηλεκτρικού πεδίου και, στη συνέχεια, τη συγκέντρωσή τους στις πλάκες των φίλτρων. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μία μηχανική διάταξη σφυριών κτυπά τις πλάκες τινάζοντας την τέφρα, που λόγω της βαρύτητας συγκεντρώνεται στις χοάνες των φίλτρων, ενώ, στη συνέχεια, με τη βοήθεια ρεύματος αέρα, μεταφέρεται στα σιλό της τέφρας. Η γνώση των ιδιοτήτων του καυσίμου και της τέφρας της συγκεκριμένης εγκατάστασης είναι σημαντική για την καλή λειτουργία και αποδοτική κατακράτηση των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας. Η/Φ χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται πολύ υψηλές αποδόσεις για πολύ μικρά σωματίδια, ο όγκος του αερίου προς επεξεργασία είναι πολύ μεγάλος και απαιτείται ανάκτηση πολύτιμου υλικού.

Τόσο για υφιστάμενες όσο και για νέες μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη ή λιθάνθρακα, προτείνεται η χρήση είτε Η/Φ είτε σακκόφιλτρων για όλες τις δυναμικότητες των μονάδων, ενώ οι μετρούμενες συγκεντρώσεις σε νέες εγκαταστάσεις είναι μικρότερες από 30 mg/m<sup>3</sup>. Οι κυκλώνες χρησιμοποιούνται για καυσαέρια που μεταφέρουν τέφρα μεγέθους κόκκου μεγαλύτερου από 2-3 μm. Ο συνδυασμός τους με Η/Φ μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά μόνο όταν έχουμε μεγάλο μέρος σκόνης με μικρό μέγεθος κόκκου, σε συνδυασμό με ένα μεγάλο μέρος ιπτάμενου κωκ.

Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνολογίες (ΒΔΤ), προτείνεται η χρήση είτε Η/Φ είτε σακκόφιλτρων από ύφασμα. Οι κυκλώνες και οι μηχανικοί συλλέκτες από μόνοι τους δεν θεωρούνται ΒΔΤ, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διατάξεις πρωταρχικού καθαρισμού κατά τη δίοδο των καυσαερίων. Η απόδοση των Η/Φ θεωρείται μεγαλύτερη ή ίση από 99,5% και η απόδοση των σακκόφιλτρων μεγαλύτερη ή ίση από 99,95%. Οι μικρότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις σωματιδίων για μεγάλες δυναμικότητες δεν θα πρέπει να μας ξενίζουν, γιατί οφείλονται στο μηχανισμό αποθείωσης των καυσαερίων που οδηγεί σε μειωμένες εκπομπές σωματιδίων<sup>43</sup>.

**ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ  
ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΟΛΙΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ  
(Total Suspended Particles, TSP)**

ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ (MWth)	ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ TSP (mg/Nm <sup>3</sup> )	
Νέες εγκαταστάσεις		Υφιστάμενες εγκαταστάσεις	
50-100	Η/Φ ή σακκόφιλτρα	5-20	5-30
100-300	Η/Φ ή σακκόφιλτρα, ανάλογα με την τεχνολογία καύσης, σε συνδυασμό με αποθείωση καυσαερίων	5-20	5-25
>300	Η/Φ ή σακκόφιλτρα, ανάλογα με την τεχνολογία καύσης, σε συνδυασμό με αποθείωση καυσαερίων	5-10	5-20
	Η/Φ ή σακκόφιλτρα	5-20	5-20

(Πηγή: ΕΙΡΡPCB, 2005)

43. ΕΙΡΡPCB, 2005. *European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB), Best available techniques (BAT) for the combustion of coal and lignite*, [http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/lcp\\_Coal&Lignite\\_BAT.pdf](http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/lcp_Coal&Lignite_BAT.pdf)

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Η/Φ σε σχέση με τις άλλες συσκευές ελέγχου σωματιδίων είναι<sup>44</sup>:

### **Πλεονεκτήματα**

- Πολύ υψηλές αποδόσεις, ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια.
- Μπορούν να επεξεργάζονται πολύ μεγάλους όγκους αερίου με χαμηλή πτώση πίεσης.
- Ξηρή συλλογή πολύτιμων υλικών ή υγρή συλλογή για καπνούς και ομιχλώματα.
- Μπορούν να σχεδιαστούν για μια εκτεταμένη περιοχή θερμοκρασιών αερίου.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας, εκτός από τις πολύ υψηλές αποδόσεις.

### **Μειονεκτήματα**

- Υψηλό κόστος επένδυσης.
- Δεν ελέγχουν εκπομπές αερίων.
- Όχι πολύ ευέλικτα σε μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας, από τη στιγμή που θα εγκατασταθούν.
- Καταλαμβάνουν πολύ χώρο.
- Είναι πιθανό να μη λειτουργούν σε σωματίδια με πολύ υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

## ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

## 6.3

Μπορούμε να διακρίνουμε τις τεχνολογίες σε αυτές που έχουν στόχο τη δέσμευση αέριων ρύπων και αυτές που έχουν στόχο τη δέσμευση σωματιδιακών ρύπων. Οι τεχνολογίες που στοχεύουν στη δέσμευση σωματιδιακών ρύπων παρουσιάστηκαν συνοπτικά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τις τεχνολογίες που στοχεύουν στη δέσμευση αέριων ρύπων. Επιπλέον, θα αναφερθούμε στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν μεγάλοι βιομηχανικοί κλάδοι στη χώρα μας, όπως η τσιμεντοβιομηχανία και τα διυλιστήρια.

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

#### Απορρόφηση αέριων ρύπων από ρεύματα υγρού

Το αέριο ρεύμα που περιέχει ρύπους έρχεται σε επαφή με υγρό στο οποίο ο ρύπος είναι διαλυτός. Ο ρύπος περνάει από την αέρια στην υγρή φάση και, έτσι, το αέριο ρεύμα απαηλλάσσεται από το ρύπο. Αν και η βασική αρχή φαίνεται απλή, οι αρχές που διέπουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία των πύργων απορρόφησης είναι πολύπλοκες και απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις. Οι πύργοι απορρόφησης έχουν πολλές εφαρμογές. Η διεργασία μπορεί να εφαρμόζεται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση γαιανθράκων (λιγνίτη) ή μαζούτ.

Οι πύργοι απορρόφησης είναι, συνήθως, κυλινδρικοί, με ορισμένες διαστάσεις ύψους και διαμέτρου, οι οποίες εξαρτώνται από τη διεργασία. Περιέχουν, συνήθως, ειδικά πληρωτικά υλικά, με στόχο την αύξηση της επιφάνειας επαφής μεταξύ της αέριας και της υγρής φάσης. Η ακάθαρτη αέρια φάση τροφοδοτείται από τον πυθμένα του πύργου και διέρχεται μέσα από το σώμα του πύργου που περιέχει το πληρωτικό υλικό. Η υγρή φάση στην οποία είναι επιθυμητή η ποσοτική μεταφορά του αέριου ρύπου τροφοδοτείται

από την κορυφή του πύργου με συγκεκριμένη ροή. Από την κορυφή του πύργου εξέρχεται η καθαρή αέρια φάση. Από τον πυθμένα του πύργου εξέρχεται η ακάθαρτη υγρή φάση στην οποία έχει μεταφερθεί, κατά το δυνατόν ποσοτικά, ο ρύπος.

## Προσρόφηση αέριων ρύπων σε στερεά

Η προσρόφηση είναι κλασική διεργασία και εφαρμόζεται κύρια για τη μείωση των εκπομπών **οργανικών ενώσεων**, που συνεπάγεται και τη μείωση οσμών σε βιομηχανικά αέρια ρεύματα, αλλά και για την ανάκτηση διαλυτών. Η διεργασία πλεονεκτεί, διότι αποφεύγεται η καύση των ρύπων, είναι εφαρμόσιμη και αποδοτική σε μικρές συγκεντρώσεις των ρύπων σε αέρια ρεύματα και προσφέρει τη δυνατότητα ανάκτησης του ρύπου. Κατά την προσρόφηση, ο αέριος ρύπος μεταφέρεται από την αέρια φάση στην επιφάνεια ενός στερεού, όπου μπορεί να συγκρατείται πάνω σε αυτή με διάφορους τρόπους. Αν η προσρόφηση είναι φυσική, οι δυνάμεις συγκράτησης είναι σχετικά ασθενείς και η ρόφηση μη ειδική. Αν η προσρόφηση είναι χημική, είναι ειδική και οι δυνάμεις είναι ισχυρές δυνάμεις χημικού δεσμού, και μπορεί να θεωρηθεί ως χημική αντίδραση.

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι στήλες διαφόρων διαστάσεων που καθορίζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των προς επεξεργασία αερίων. Οι στήλες αυτές είναι γεμισμένες με κατάλληλη ποσότητα προσροφητή. Το προς επεξεργασία αέριο διοχετεύεται μέσα από τη στήλη και την «κλίνη», όπως λέγεται, του προσροφητή. Κατά τη διέλευσή του, ο αέριος ρύπος συγκρατείται από τον προσροφητή και το αέριο ρεύμα εξέρχεται απαλλαγμένο από το ρύπο. Όταν η στήλη κορεστεί, στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα αναγέννησης και επαναχρησιμοποίησής της, καθώς και ανάκτησης του ροφημένου ρύπου. Το τελευταίο προσφέρει τη δυνατότητα ανακύκλωσης του ρύπου. Αυτό, μαζί με την ευελιξία εφαρμογής της προσρόφησης σε μεγάλο εύρος ρύπων, αλλά και κλίμακας εγκαταστάσεων, αποτελούν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών προσρόφησης. Η αναγέν-

νηση μπορεί να είναι είτε θερμική είτε υπό κενό, οπότε ο ρύπος ή οι ρύποι εκκροφώνται από τη στήλη. Κατά την εκρόφηση υπό κενό, συχνά ανακτάται προϊόν αξιόλογης καθαρότητας. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διπλής διάταξης όταν απαιτείται συνεχής λειτουργία της διεργασίας, ώστε κατά τη διάρκεια αναγέννησης της μίας στήλης να έχει τεθεί σε λειτουργία η δεύτερη.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως προσροφητές είναι γενικά υλικά με μεγάλη επιφάνεια ανά μονάδα μάζας. Τέτοια υλικά είναι ο ενεργός άνθρακας, η ενεργός αλουμίνα, οι zeόλιθοι και η silica gel.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται για μεγάλο εύρος οργανικών ενώσεων: Αρωματικούς διαλύτες, πολυκυρηνικούς υδρογονάνθρακες, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες, φαινόλες, αλειφατικές/αρωματικές αμίνες, απορρυπαντικά, διαλυτά οργανικά χρώματα, καύσιμα, χλωριωμένους διαλύτες, αλειφατικά και αρωματικά οξέα.

Η ενεργός αλουμίνα χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση υγρασίας από αέρια ρεύματα και για διάφορες άλλες εφαρμογές.

Οι zeόλιθοι χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση ενώσεων του θείου, μερκαπτανών, αλκοολών, υδροθείου και φορμαλδεΐδης.

Η silica gel χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό υδρογονανθράκων, για την ξήρανση αέριων ρευμάτων και την απομάκρυνση θείου από αέρια ρεύματα.

## **Διεργασίες οξείδωσης ή καύσης**

Οι διεργασίες θερμικής οξείδωσης ή καύσης είναι καταστρεπτικές για τους ρύπους και εφαρμόζονται συνήθως όταν τα αέρια ρεύματα είναι πλούσια σε ουσίες-ρύπους που μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό μέρος του καυσίμου. Οι καύσεις αυτές μπορούν να γίνουν είτε σε απλούς καυστήρες γυμνής φλόγας είτε σε διάφορους άλλους, πολυπλοκότερους καυστήρες. Κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι ότι αέρας και καύσιμο χρησιμοποιούνται για να

καούν οι ρύποι σε διεργασία υψηλής θερμοκρασίας. Οι φλόγες οι οποίες καίνε στην κορυφή καμινάδων διυλιστηρίων είναι παράδειγμα τέτοιων διεργασιών καύσης οργανικών ουσιών. Πληθονεκτήματα αυτών των μεθόδων αποτελούν η πλήρης καταστροφή των οργανικών ενώσεων και η πιθανή ανάκτηση θερμότητας από την καύση. Μειονεκτήματα αποτελούν το υψηλό κόστος εγκατάστασης και το υψηλό λειτουργικό κόστος, αλλά κύρια η πιθανότητα επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με άλλους ρύπους.

Οι καυστήρες που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για την καταστροφή οργανικών ρύπων από αέρια ρεύματα μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: απλοί καυστήρες γυμνής φλόγας, καυστήρες γυμνής φλόγας με ανάκτηση θερμότητας και καυστήρες αναγέννησης και καταλυτικοί καυστήρες. Οι καυστήρες με ανάκτηση θερμότητας κάνουν καλύτερη διαχείριση και περιορίζουν τη σπατάλη της θερμικής ενέργειας, αξιοποιώντας την για κάποια χρήση. Τέλος, οι καταλυτικοί καυστήρες (με χρήση παλλιδίου ή λευκοχρύσου ως καταλύτη) πληθονεκτούν σημαντικά έναντι των άλλων, διότι οδηγούν σε μειωμένο χρόνο παραμονής των αερίων στο θάλαμο της καύσης, σε μειωμένη θερμοκρασία λειτουργίας και διεξαγωγής της αντίδρασης και μεγάλη απόδοση, της τάξης του 95-98%.

## ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Οι ελληνικές μονάδες παραγωγής τσιμέντου είτε έχουν σχεδιαστεί εξ αρχής, βάσει υψηλών προδιαγραφών τεχνολογίας παραγωγής, είτε έχουν αναβαθμιστεί πρόσφατα. Με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, τη βελτίωση της ποιότητας του κλίνκερ και τη μείωση των εκπομπών, στην ελληνική τσιμεντοβιομηχανία:

- Χρησιμοποιείται η ξηρά μέθοδος παραγωγής κλίνκερ.
- Καταβάλλεται προσπάθεια για τη σταθερή και ομαλή λειτουργία των ΠΚ (περιστροφικών κλιβάνων).
- Γίνεται προομογενοποίηση των πρώτων υλών.



- Εξασφαλίζεται η σταθερή τροφοδοσία καυσίμου και φαρίνας στους ΠΚ.
- Χρησιμοποιείται προθερμαντής 4-5 σταδίων κυκλώνων και προ-ασβεστοποιητής.
- Χρησιμοποιούνται συστήματα καύσης κατά στάδια.
- Γίνονται προσπάθειες για διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών φλόγας.
- Γίνονται προσπάθειες για διατήρηση χαμηλών επιπέδων περισσειας οξυγόνου στον αέρα καύσης.
- Χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις καυστήρες χαμηλών εκπομπών  $\text{NO}_x$ .
- Χρησιμοποιούνται ψύκτες κλίνκερ τύπου εσχάρας στις περισσότερες περιπτώσεις.
- Γίνεται ανάκτηση θερμότητας των αερίων ψύξης κλίνκερ.
- Τα εργοστάσια έχουν εγκαταστήσει προηγμένα συστήματα αυτόματου ελέγχου των διεργασιών.
- Εφαρμόζονται μέτρα περιορισμού διάχυτων εκπομπών σκόνης.

Πιο αναλυτικά, σε ό,τι αφορά στις τεχνικές μείωσης των εκπομπών  $\text{NO}_x$ , στην Ελλάδα ήδη εφαρμόζονται μόνο Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (ΒΔΤ) παραγωγής. Γενικά, επιτυγχάνονται εκπομπές  $350\text{-}1.250 \text{ mg}/\text{m}^3$  με τις μεγαλύτερες τιμές στους μεγάλους κλιβάνους παλαιάς τεχνολογίας.

Όσον αφορά το  $\text{SO}_2$ , στην Ελλάδα, λόγω της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Οι εκπομπές είναι μικρότερες από  $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ , ώστε όρια κάτω των  $200 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  να επιτυγχάνονται χωρίς ιδιαίτερα μέτρα και κόστος.

Τέλος, σχετικά με τη σκόνη, όλες σχεδόν οι μονάδες ήδη διαθέτουν τεχνολογία που χαρακτηρίζεται ως ΒΔΤ. Εφαρμόζονται, γενι-

κά, όλες οι τεχνικές αντιρρύπανσης (αποκονίωσης) που συνεπάγονται την ελάττωση τόσο των σταθερών (από εγκαταστάσεις), όσο και των διάχυτων εκπομπών σκόνης. Για την αποκονίωση των σταθερών εκπομπών χρησιμοποιούνται, κυρίως, σακκόφιλτρα και ηλεκτροστατικά φίλτρα πολύ μεγάλης απόδοσης.

## ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ

Τα διυλιστήρια αποτελούν ιδιαίτερα σύνθετες εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν πληθώρα τμημάτων και μονάδων. Στα διυλιστήρια, η αντιρρυπαντική τεχνολογία ως προς τις αέριες εκπομπές εστιάζεται στον περιορισμό των εκπομπών ενώσεων θείου και τον έλεγχο εκπομπών VOC.

Το SO<sub>2</sub> εκλύεται κυρίως από φούρνους και λέβητες, από τον αναγεννητή της μονάδας καταλυτικής διάσπασης, τις μονάδες ανάκτησης θείου, τους πυρσούς και τους μετακαυστήρες.

Το H<sub>2</sub>S εκλύεται από τη μονάδα καταλυτικής υδρογονοαποθείωσης. Εκλύσεις VOC έχουμε στις δεξαμενές πρώτων υλών και προϊόντων, κατά τις διεργασίες φορτοεκφόρτωσης, στους ελαιοδιαχωριστές, σε φιλάντζες, αντλίες και άλλα στοιχεία του εξοπλισμού.

Η συμβατική υδρογονοαποθείωση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αποθείωσης και αυτή χρησιμοποιείται κατά κόρον στα ελληνικά διυλιστήρια. Πρόκειται για μια μορφή υδρογόνωσης ή υδρογονοκατεργασίας παρουσία καταλύτη, που χρησιμοποιείται ευρέως για την αφαίρεση του θείου από τα προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου όπως είναι η βενζίνη, το πετρέλαιο, το καύσιμο αεριοθουμένων, η κηροζίνη, το ντήζελ και το βαρύ πετρέλαιο. Η διαδικασία υδρογονοαποθείωσης περιλαμβάνει και διεργασίες για τη δέσμευση και απομάκρυνση του παραγόμενου αερίου H<sub>2</sub>S, το οποίο τελικά μετατρέπεται σε στοιχειακό θείο (διεργασία Claus).

Για τον περιορισμό της διαφυγής VOC από τα διυλιστήρια πετρελαίου, εφαρμόζονται από τις ελληνικές μονάδες Βέλτιστες Διαθέ-

σιμες Τεχνικές σύμφωνα με την οδηγία 96/61/ΕΚ (IPPC). Αυτές περιλαμβάνουν παρεμβάσεις πριν, κατά την παραγωγική διαδικασία και μετά από αυτήν. Τέτοια μέτρα είναι η εγκατάσταση κλειστών κυκλωμάτων στις διεργασίες αερίων, εκτόνωση αερίων από ασφαλιστικές δικλίδες προς τους πυρσούς, τοποθέτηση δευτεροταγών φραγών στις δεξαμενές πλωτής οροφής, τοποθέτηση πλωτών σκεπάστρων στους ελαιοδιαχωριστές και εγκατάσταση συστήματος ανάκτησης ατμών στο σταθμό φόρτωσης βυτιοφόρων οχημάτων, παράλληλα με την εφαρμογή του συστήματος φόρτωσης των βυτιοφόρων από τον πυθμένα, έλεγχος καλής λειτουργίας καυστήρων και λεβήτων, διενέργεια μετρήσεων και καταγραφών των αέριων ρύπων, έλεγχος του εξοπλισμού με εφαρμογή προγράμματος ανίχνευσης διάχυτων εκπομπών.

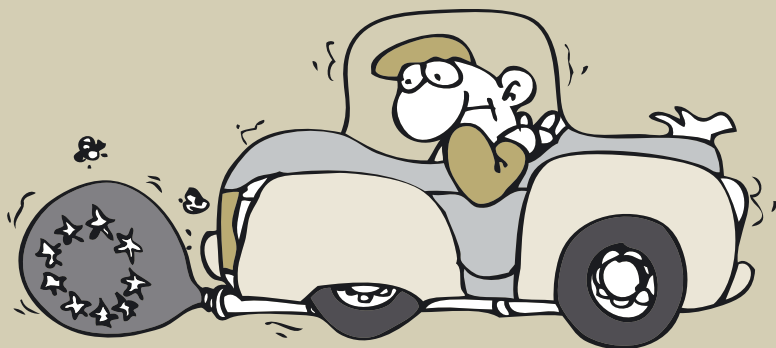
## ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ		
Σταθερές Πηγές	Μέγεθος σωματιδίων	Τεχνολογία
Κεντρικές θερμάνσεις	Μεγάλο >5μm	Κυκλώνες
Βιομηχανικές εγκαταστάσεις	Μικρό	Κυκλώνες και πολλαπλοί κυκλώνες
		Πλυντήρια αερίων
		Σακκόφιλτρα
		Ηλεκτροφιλτρα
<b>Κινητές πηγές</b>		Καύσιμα υψηλής ποιότητας-κινητήρες με κατάλληλες προδιαγραφές →

## ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ

Σταθερές Πηγές	Κατηγορία	Τεχνολογία
Κεντρικές θερμάνσεις	CO, SO <sub>2</sub>	Τήρηση προδιαγραφών ποιότητας καυσίμου και λειτουργίας καυστήρων
Βιομηχανικές εγκαταστάσεις	Οργανικές ενώσεις VOC, διαλύτες, H <sub>2</sub> S	Αντιδραστήρες-στήλεις προσρόφησης με διάφορους προσροφητές
	Πλούσια μίγματα οργανικών ενώσεων	Καύση-οξειδωτική καταστροφή σε καυστήρες διαφόρων τύπων
	CO	Καυστήρες ειδικών προδιαγραφών με στόχο την αυξημένη απόδοση για σχηματισμό CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O
	SO <sub>2</sub>	Αποθείωση καυσίμων
		Παραγωγή θειικού οξέος: πλούσια απαέρια σε SO <sub>2</sub> όπως στη μεταλλουργία θειούχων ορυκτών
		Πηλυντήρια ασβέστου-ασβεστολίθου
NO <sub>x</sub>	Καυστήρες χαμηλών εκπομπών	
	Καταλυτική αναγωγή NO <sub>x</sub> σε αέριο άζωτο	
<b>Κινητές πηγές</b>	CO, NO <sub>x</sub> , HC	Τριοδικό καταλύτες

Εθνικό και  
ευρωπαϊκό  
θεσμικό πλαίσιο  
για την ποιότητα  
του ατμοσφαιρικού  
αέρα



# 7.1

## ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

Η νέα **οδηγία 2008/50/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, είναι επικαιροποιημένη και αρκετά πλήρης σε πολλά επίπεδα σε σχέση με τις παλαιότερες. Η οδηγία έχει ως αντικείμενο:

- τον προσδιορισμό και καθορισμό των στόχων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος.
- την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στα κράτη-μέλη, βάσει κοινών μεθόδων και κριτηρίων.
- τη συγκέντρωση πληροφοριών όσον αφορά στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, ώστε να διευκολυνθεί η καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των οχλήσεων, καθώς και η παρακολούθηση των μακροπρόθεσμων τάσεων και βελτιώσεων που προκύπτουν από τα εθνικά και κοινοτικά μέτρα.
- την εξασφάλιση της διάθεσης αυτών των πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του αέρα στο κοινό.
- τη διατήρηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, όταν είναι καλή, και τη βελτίωσή της στις άλλες περιπτώσεις.
- την προαγωγή μεγαλύτερης συνεργασίας μεταξύ των κρατών-μελών σε ό,τι αφορά τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στην οδηγία υπάρχουν πίνακες με όρια και τιμές-στόχους για όλους τους βασικούς ρύπους και το όζον.

Στη **νέα οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις Βιομηχανικές Εκπομπές** (Industrial Emissions Directive, IED), που αναμένεται να ψηφιστεί εντός του 2010, γίνεται ανασκόπηση και εδραιώνονται επτά οδηγίες:

1. Η ολοκληρωμένη οδηγία για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης (Integrated Pollution Prevention and Control Directive 2008/1/EC).
2. Η οδηγία που αφορά τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης (Large Combustion Plants Directive, 2001/80/EC). Αυτή αφορά τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Η οδηγία για την καύση των στερεών απορριμμάτων (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC).
4. Η οδηγία για τους οργανικούς διαλύτες (Organic Solvents Directive 1999/13/EC).
5. Τρεις οδηγίες που αφορούν τη Βιομηχανία Διοξειδίου του Τιτανίου (Titanium Dioxide Industry Directives 1978/176/EC, 1982/883/EC, 1992/112/EC).

Κατά τη νέα οδηγία (Industrial Emissions Directive, IED), όλα τα νέα εργοστάσια θα πρέπει να προσαρμοστούν και να ανταποκριθούν στις προδιαγραφές για νέες εγκαταστάσεις. Όλες οι εγκαταστάσεις επιτρέπεται να λειτουργούν μόνο εάν διαθέτουν άδεια η οποία περιλαμβάνει τις τιμές των ορίων εκπομπής (Emission Limit Values, ELVs), αυστηρά σε συμφωνία με τα όρια-επίπεδα εκπομπών που συνδέονται με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές (Best Available Techniques Associated Emission Levels, BATAELs).

Τα όρια των εκπομπών που συνδέονται με τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές συγκράτησης ρύπων θα ισχύσουν από το 2016 και είναι πολύ χαμηλότερα από τα ισχύοντα, π.χ. για τα στερεά καύσιμα: για το SO<sub>2</sub>: από 400 στα <200 mg/Nm<sup>3</sup>, για τα NO<sub>x</sub>: από 500 στα <200 mg/Nm<sup>3</sup> και για τα σωματίδια: από 100 στα <20 mg/Nm<sup>3</sup>. Λόγω του πολύ μεγάλου κόστους της προσαρμογής των παλαιότερων μεγάλων εγκαταστάσεων καύσεων στα νέα όρια, προτείνονται ορισμένες ρυθμίσεις που στοχεύουν σε ευελιξία της εφαρμογής των όσων προβλέπονται από τη νέα οδηγία για αυτές τις παλαιότερες εγκαταστάσεις.

## 7.2

### ΕΘΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Βάσει των οδηγιών της ΕΕ, έχουν εκδοθεί και συνεχίζουν να εκδίδονται μια σειρά από νομοθετικές διατάξεις<sup>45</sup>. Στη συνέχεια, παραθέτουμε μία αρκετά πλήρη εικόνα του νομοθετικού πλαισίου για τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

#### ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Τα όρια εκπομπών αέριων ρύπων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθορίζονται από τρία ακόλουθα βασικά νομοθετήματα. Η βασική αυτή νομοθεσία απεικονίζεται στις αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων<sup>46</sup> για κάθε βιομηχανική εγκατάσταση η οποία ενδέχεται να θέτει επιπλέον περιορισμούς, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μονάδας, που σχετίζονται με τις εκπομπές αέριων ρύπων.

#### ΠΔ 1180/1981

Θέτει όρια εκπομπής ρύπων από την παραγωγική διαδικασία για συγκεκριμένες κατηγορίες βιομηχανικών μονάδων. Το Άρθρο 2 του ΠΔ 1180/1981 (ΦΕΚ Α' 293/6-10-81): «*Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγόμενων στα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσης μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφάλισης περιβάλλοντος εν γένει*» καθορίζει επιτρεπόμενα **όρια εκπομπής ρύπων** στην ατμόσφαιρα από παλαιές και νέες εγκαταστάσεις (ως «νέες» εγκαταστάσεις θεωρούνται εκείνες των οποίων η άδεια λειτουργίας χορηγήθηκε μετά την 6/10/1981). Τα όρια αυτά καθορίζονται ως ακολούθως:

45. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε WWF Ελλάς, *Συνήγορος του Πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Νομικός Οδηγός, Αθήνα, Β' μέρος, κεφ. 1*
46. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε WWF Ελλάς, *Συνήγορος του Πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Νομικός Οδηγός, Αθήνα, Α' μέρος, κεφ. 2*



- Για τον **καπνό** που προέρχεται από τις εστίες καύσης παλαιών και νέων εγκαταστάσεων, στο βαθμό 1 της κλίμακας Ringelmann. Η υπέρβαση του παραπάνω βαθμού επιτρέπεται κατ' εξαίρεση.
- Για το **φθόριο, το υδροφθόριο και τις φθοριούχες ανόργανες ενώσεις** που εκπέμπονται από παλαιές εγκαταστάσεις, σε  $100 \text{ mg/Nm}^3$  και από τις νέες σε  $80 \text{ mg/Nm}^3$ , πλην των εκπεμπόμενων από τις εγκαταστάσεις πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου.
- Για τον **ανόργανο μόλυβδο ή το αρσενικό ή το κάδμιο** που εκπέμπονται από παλαιές εγκαταστάσεις, σε  $20 \text{ mg/Nm}^3$ , από τις δε νέες σε  $10 \text{ mg/Nm}^3$ , όχι συνολικά, αλλά για κάθε ένα χωριστά.
- Για τα **αιωρούμενα στερεά (σκόνες)** που εκπέμπονται μεν από παλαιές εγκαταστάσεις, σε  $150 \text{ mg/m}^3$ , από τις δε νέες σε  $100 \text{ mg/m}^3$ .
- Από τις εγκαταστάσεις **παραγωγής τσιμέντου**, σε  $150 \text{ mg/Nm}^3$  αιωρούμενων στερεών για τις παλαιές, και σε  $100 \text{ mg/m}^3$  για τις νέες εγκαταστάσεις. Στις εγκαταστάσεις παραγωγής τσιμέντου επιτρέπεται η χρήση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, υπό τον όρο ότι το παραγόμενο διοξείδιο του θείου δεσμεύεται κατά την παραγωγική διαδικασία.
- Από τις εγκαταστάσεις **παραγωγής υδροχλωρικού οξέος ή υδροχλωρίου**, σε  $40 \text{ mg/Nm}^3$  υδροχλωρικού οξέος ή υδροχλωρίου, εκφρασμένου σε υδροχλώριο, για τις παλαιές εγκαταστάσεις, για τις δε νέες σε  $20 \text{ mg/Nm}^3$ .
- Από τις εγκαταστάσεις **παραγωγής νιτρικού οξέος**, σε  $8 \text{ kg NO}_2$  ανά παραγόμενο τόνο νιτρικού οξέος 100% για τις παλαιές εγκαταστάσεις, και σε  $6 \text{ kg}$  για τις νέες.
- Από τις εγκαταστάσεις **παραγωγής θειικού οξέος, 1)** σε  $10 \text{ kg SO}_2$  ανά παραγόμενο τόνο θειικού οξέος 100% για τις παλαιές εγκαταστάσεις και σε  $6 \text{ kg}$  για τις νέες και **2)** σε  $0,8 \text{ kg SO}_3$  ανά παραγόμενο τόνο θειικού οξέος 100% για τις παλαιές εγκαταστάσεις και σε  $0,5 \text{ kg}$  για τις νέες.

- Από τις εγκαταστάσεις **παραγωγής πρωτογενούς αλουμινίου**, σε 3 kg φθορίου ανά παραγόμενο τόνο αλουμινίου για τις παλαιές εγκαταστάσεις και σε 1 kg για τις νέες.
- Από τις εγκαταστάσεις, παλαιές και νέες, **διυλίσεως πετρελαίου**, 1) σε 10 mg 11S/Nm<sup>3</sup> και 2) στην περίπτωση κατά την οποία το παραγόμενο υδρόθειο είναι περισσότερο των δύο τόνων ημερησίως, τα απαέρια που περιέχουν υδρόθειο υποβάλλονται στην κατάλληλη επεξεργασία μετατροπής του υδροθείου σε θείο.
- Από τις εγκαταστάσεις, παλαιές και νέες, **προπαρασκευής άνθρακα**, δηλαδή θραύσης, λειοτρίβησης, κοσκίνισης, μεταφοράς και φόρτωσης, σε 100 mg σκόνη άνθρακα ανά Nm<sup>3</sup>.
- Από τις εγκαταστάσεις, παλαιές και νέες, **παραγωγής ή επεξεργασίας ή βιομηχανοποίησης αμιάντου**, σε 2 ίνες αμιάντου ανά κυβικό εκατοστό αέρα για αμιάντο χαρακτηριζόμενο ως χρυσσίλη και σε 0,2 ίνες για αμιάντο χαρακτηριζόμενο ως κροκιδόλιθο. Ως ίνα αμιάντου θεωρείται, από τις διατάξεις αυτές, κάθε ίνα της οποίας το μήκος είναι μεγαλύτερο των 5 μικρών και στην οποία η σχέση του μήκους ως προς το πλάτος είναι μεγαλύτερη του 3 προς 1. Στην περίπτωση που συνυπάρχουν και τα δύο είδη αμιάντου, το ανώτατο επιτρεπόμενο ποσό εκπομπής υπολογίζεται επί τη βάση του ποσοστού συμμετοχής κάθε είδους.

#### ΚΥΑ 11294/1993

Καθορίζει επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για βιομηχανικούς λέβητες. Σύμφωνα με το Άρθρο 1 της ΚΥΑ 11294/1993 (ΦΕΚ Β' 264/15-4-1993): «*Όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ, ντήζελ ή αέριο*», καθορίζονται τα ακόλουθα όρια εκπομπών για τα αέρια απόβλητα των εγκαταστάσεων καύσης που λειτουργούν με **μαζούτ**:

**α)** Ο δείκτης αιθάλης, μετρούμενος σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 525-1, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την τιμή 3 της κλίμακας Bacharach.

**β)** Η περιεκτικότητα των αερίων αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μετρούμενη σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 897, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% κατ' όγκο, κατά τη λειτουργία των λεβήτων με 50% έως 100% της ονομαστικής τους ισχύος. Αντί της περιεκτικότητας των αερίων αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μπορεί να μετράται η περιεκτικότητα σε οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ), σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 897, και πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση του 7,5% κατ' όγκο κατά τη λειτουργία των λεβήτων με 50% έως 100% της ονομαστικής τους ισχύος.

Στο Άρθρο 3 καθιερώνονται τα παρακάτω όρια εκπομπών για τα αέρια απόβλητα των εγκαταστάσεων καύσης του Άρθρου 1 που λειτουργούν με **πετρέλαιο ντήζελ ή αέριο**:

**α)** Ο δείκτης αιθάλης, μετρούμενος σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 525-1, δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την τιμή 1 της κλίμακας Bacharach.

**β)** Η περιεκτικότητα των αερίων αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μετρούμενη σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 897, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% κατ' όγκο. Αντί της περιεκτικότητας των αερίων αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μπορεί να μετράται η περιεκτικότητα σε οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ), σύμφωνα με τη μέθοδο αναφοράς που προδιαγράφεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 897, και πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση του 7,5% κατ' όγκο.

Καθορίζει επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης. Στο άρθρο 4, η ΚΥΑ 58751/2370/1993 (ΦΕΚ Β' 264/15-4-1993): «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης» ορίζει για τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις (ως υφιστάμενες εγκαταστάσεις θεωρούνται εκείνες των οποίων η αρχική άδεια εγκατάστασης ή, όπου αυτή δεν απαιτείται, η αρχική άδεια λειτουργίας, χορηγήθηκε πριν από την 1η Ιουλίου 1987) ότι:

Πρέπει να τηρούνται συνολικά για όλη τη χώρα τα ανώτατα όρια εκπομπών ως προς το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ): για τα έτη 1993, 1998 και 2003, στο σύνολό τους οι εγκαταστάσεις καύσης να μην υπερβαίνουν τους 320 χιλ. τόνους/έτος, δηλαδή +6% μεταβολή των εκπομπών έναντι του 1980. Ως προς τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ): για τα έτη 1993 και 1998, να μην υπερβαίνουν στο σύνολό τους 70 χιλ. τόνους/έτος, δηλαδή +94% μεταβολή έναντι του 1980.

#### ■ Στο Άρθρο 5 ορίζει:

**1. Για τις νέες εγκαταστάσεις** που χρησιμοποιούν αποκλειστικά **στερεά καύσιμα**, τις ακόλουθες οριακές τιμές εκπομπής ρύπων:

**α)** Για το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), το όριο μειώνεται σταδιακά από 2.000 mg/Nm<sup>3</sup> για 100 MW ονομαστικής θερμικής ισχύος έως 400 mg/Nm<sup>3</sup> για ονομαστική θερμική ισχύ μεγαλύτερη ή ίση των 500 MW.

**β)** Για τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ): γενικά, 650 mg/Nm<sup>3</sup> και ειδικά για καύσιμα με λιγότερο από 10% πτητικά συστατικά, 1.300 mg/Nm<sup>3</sup>.

**γ)** Για τα σωματίδια: 50 mg/Nm<sup>3</sup> για εγκαταστάσεις με ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη ή ίση των 500 MW και 100 mg/Nm<sup>3</sup> για εγκαταστάσεις με ονομαστική ισχύ μικρότερη των 500 MW.

**2.** Για τις **εγκαταστάσεις καύσης** που χρησιμοποιούν **εγχώρια στερεά καύσιμα** και δεν είναι δυνατόν, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των καυσίμων αυτών, να τηρηθούν οι οριακές τιμές εκπομπής για το  $\text{SO}_2$  που έχουν προβλεφθεί, θα πρέπει να τηρούνται τα εξής ποσοστά αποθείωσης: το ποσοστό είναι 40% για ονομαστική θερμική ισχύ 100-170 MW, αυξάνεται από 40% έως 90% για αντίστοιχη αύξηση της ονομαστικής θερμικής ισχύος από 170 MW σε 500 MW και για ονομαστική θερμική ισχύ μεγαλύτερη των 500 MW το ποσοστό αποθείωσης σταθεροποιείται στο 90%.

**3.** Προκειμένου για εγκαταστάσεις ονομαστικής θερμικής ισχύος τουλάχιστον 400 MW, που έχουν ετήσια λειτουργία μικρότερη ή ίση των 2.200 ωρών, η οριακή τιμή εκπομπής για το  $\text{SO}_2$  καθορίζεται σε  $800 \text{ mg/Nm}^3$ .

■ **Στο Άρθρο 6 ορίζονται** για τις νέες εγκαταστάσεις καύσης που χρησιμοποιούν αποκλειστικά υγρά καύσιμα οι ακόλουθες οριακές τιμές εκπομπής ρύπων:

**α)** Για το διοξείδιο του θείου τα όρια διαφοροποιούνται ως εξής: για εγκαταστάσεις με ονομαστική θερμική ισχύ 50-300 MW,  $1.700 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ , για αύξηση της ονομαστικής θερμικής ισχύος από 300 έως 500 MW το όριο παρουσιάζει σταδιακή μείωση από  $1.700$  σε  $400 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$  και για ονομαστική θερμική ισχύ μεγαλύτερη από 500 MW το ανώτατο όριο είναι  $400 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ .

**β)** Για τα  $\text{NO}_x$ :  $450 \text{ mg/Nm}^3$ .

**γ)** Για τα σωματίδια:  $50 \text{ mg/Nm}^3$ .

Κατ' εξαίρεση, οι εγκαταστάσεις καύσης με ονομαστική θερμική ισχύ μικρότερη των 500 MW, που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα με περιεκτικότητα τέφρας μεγαλύτερη του 0,06%, επιτρέπεται να εκπέμπουν κατ' ανώτατο όριο  $100 \text{ mg σωματιδίων/Nm}^3$ .

■ **Στο Άρθρο 7 ορίζονται** για τις νέες εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αποκλειστικά αέρια καύσιμα οι ακόλουθες οριακές τιμές εκπομπής ρύπων:

- α)** Για το SO<sub>2</sub> γενικά: 35 mg/Nm<sup>3</sup>. Ειδικά, για καύση υγραερίου, 5 mg/Nm<sup>3</sup>, ενώ για αέρια καύσιμα χαμηλής θερμογόνου δύναμης προερχόμενα από αεροποίηση καταλοίπων διυλιστηρίων, φούρνων κωκ και υψικαμίνων, 800 mg/Nm<sup>3</sup>.
- β)** Για τα NO<sub>x</sub>: 350 mg/Nm<sup>3</sup>
- γ)** Για τα σωματίδια γενικά: 5 mg/Nm<sup>3</sup>. Ειδικά για αέρια υψικαμίνων, 10 mg/Nm<sup>3</sup>, ενώ για αέρια που παράγονται από τη χαλυβουργία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εγκαταστάσεις, 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

### ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Εκτός από την παραπάνω βασική νομολογία, έχουν εκδοθεί και συνεχίζουν να εκδίδονται, κυρίως βάσει οδηγιών της ΕΕ, και μια σειρά από άλλες νομοθετικές διατάξεις. Κάποιες από αυτές τροποποιούν τμήματα των παραπάνω θεσμικών ρυθμίσεων. Άλλες διατάξεις σχετικές με εκπομπές σωματιδίων από βιομηχανίες είναι:

**ΠΥΣ 98/1987 (ΦΕΚ Α' 135)**: «Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια».

**ΠΥΣ 99/1987 (ΦΕΚ Α' 135)**: «Οριακή τιμή ποιότητας της ατμόσφαιρας σε μόλυβδο».

**ΥΑ 40786/2143/1988 (ΦΕΚ Β' 341)**: «Εφαρμογή μέτρων αντιρρύπανσης στους λιγνιτικούς σταθμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού στους νομούς Κοζάνης και Φλώρινας και άλλες συναφείς διατάξεις».

**ΥΑ 47943/1988 (ΦΕΚ Β' 807)**: «Όροι λειτουργίας εγκαταστάσεων απολίπανσης επιφανειών που λειτουργούν σε καταστήματα επιφανειακής επεξεργασίας μετάλλων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας».

**ΥΑ 47942/1988 (ΦΕΚ Β' 807)**: «Μείωση εκπομπών καύσης μέσω μέτρων εξοικονόμησης καυσίμου σε βαφεία - φινιριστήρια υφανσίμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας».

**ΚΥΑ 8243/1113/1991 (ΦΕΚ Β' 138)**: «Καθορισμός μέτρων και μεθόδων για την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από εκπομπές αμιάντου».

**Ν. 2052/1992 (ΦΕΚ Α' 94 /5-6-1992)**: «Μέτρα για την αντιμετώπιση του νέφους και πολεοδομικές ρυθμίσεις».

**ΚΥΑ 82805/2224/1993 (ΦΕΚ Β' 699)**: «Καθορισμός μέτρων και όρων για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από εγκαταστάσεις καύσης στερεών αποβλήτων».

**ΚΥΑ 76802/1033/1996 (ΦΕΚ Β' 596)**: «Τροποποίηση και συμπλήρωση της ΚΥΑ 58751/2370/93 περί καθορισμού μέτρων και όρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».

**ΠΥΣ 34/2002 (ΦΕΚ Α' 125)**: «Όρια και κατευθυντήριες τιμές σε διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μοθύβδου».

**ΠΥΣ 5/2003 (ΦΕΚ Α' 58)**: «Έγκριση εθνικού προγράμματος εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (2000-2010) σύμφωνα με το άρθρο 3 (παρ. 3) του Ν. 3017/2002 (ΦΕΚ 117/Α)».

**ΚΥΑ 29457/1511/2005 (ΦΕΚ Β' 922)**: «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από υφιστάμενες μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/80/ΕΚ για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις', του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001».

**ΚΥΑ Η.Π. 22306/1075/Ε103/2007 (ΦΕΚ Β' 920)**: «Καθορισμός τιμών-στόχων και ορίων εκτίμησης των συγκεντρώσεων του αρσενικού, του καδμίου, του υδραργύρου, του νικελίου και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2004/107/ΕΚ 'Σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και

τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα' του Συμβουλίου της 15ης Δεκεμβρίου 2004 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων».

**ΚΥΑ Η.Π. 33437/1904/Ε103/2008 (ΦΕΚ Β' 1634):** «Έγκριση Εθνικού Σχεδίου Μείωσης των Εκπομπών (ΕΣΜΕ) στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από υφιστάμενες μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σύμφωνα με το άρθρο 4 (παρ. Γ εδ. 8) της ΚΥΑ 29457/1511/2005 'Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από υφιστάμενες μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/80/ΕΚ' για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις, του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001». Η παραπάνω ΚΥΑ καθορίζει κάποια όρια και στόχους μελλοντικών εκπομπών για υφιστάμενους θιγγιτικούς ΑΗΣ.



Τους αρμόδιους φορείς μπορούμε να τους διακρίνουμε στις αρμόδιες δημόσιες υπηρεσίες και στους φορείς οι οποίοι αποτελούν μηχανισμούς ή μέρος μηχανισμών περιβαλλοντικού ελέγχου.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (**ΥΠΕΚΑ**) και οι κατά τόπους **Περιφέρειες** είναι οι αρμόδιοι φορείς για την εφαρμογή και υλοποίηση των βασικών αρχών για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα<sup>47</sup>. Το ΥΠΕΚΑ και οι κατά τόπους Περιφέρειες είναι, επίσης, αρμόδιοι φορείς για τους σταθμούς του Εθνικού δικτύου παρακολούθησης των βασικών ρύπων και, γενικά, της ποιότητας του αέρα.

Τα Υπουργεία Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας, Υγείας και Πρόνοιας και Υποδομών, καθώς και οι αντίστοιχες αρμόδιες περιφερειακές τους υπηρεσίες, οφείλουν να συνεργάζονται σε διάφορες δράσεις που αφορούν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, τις πηγές ρύπανσης και τις επιπτώσεις σε υγεία και οικοσυστήματα.

Ο **Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης** (ΕΛΟΤ) είναι αρμόδιος για τις πρότυπες μεθόδους και συσκευές μέτρησης, καθώς και τις μεθόδους βαθμονόμησης, αλλά και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές, οι αρμοδιότητες ελέγχων εμπίπτουν στους φορείς-υπηρεσίες που εγκρίνουν τους περιβαλλοντικούς όρους της μονάδας ή στους φορείς που έχουν χορηγήσει άδεια λειτουργίας. Έτσι, το Υπουργείο Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας είναι αρμόδιο για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας μεγάλων βιομηχανικών μονάδων, και η **Νομαρχιακή**

**47.** Για περισσότερες πληροφορίες δείτε WWF Ελλάς, *Συνήγορος του Πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Νομικός Οδηγός, Αθήνα, Β' μέρος, κεφ. 1*

**Αυτοδιοίκηση**<sup>48</sup> είναι αρμόδια για τον έλεγχο της τήρησης των περιβαλλοντικών όρων που αφορούν και στις αέριες εκπομπές από τις βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες στις οποίες έχουν χορηγήσει άδεια λειτουργίας.

Ειδικά για τους ΑΗΣ, η έγκριση περιβαλλοντικών όρων γίνεται με την έκδοση ΚΥΑ. Στην περίπτωση αυτή, αρμόδιοι φορείς είναι οι αρμόδιες υπηρεσίες των Υπουργείων που υπογράφουν την ΚΥΑ.

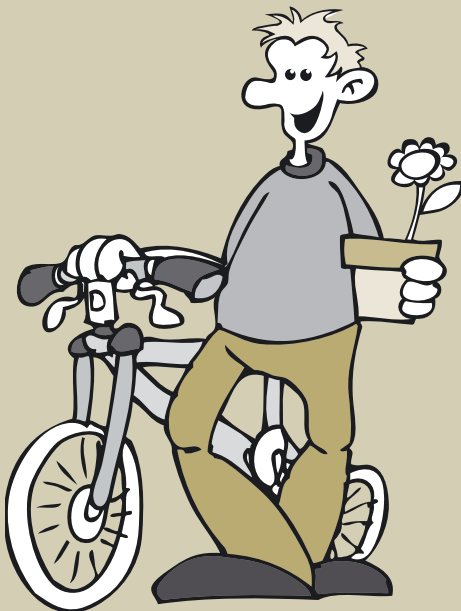
Οι **μηχανισμοί περιβαλλοντικού ελέγχου** που υπάρχουν σήμερα είναι: τα Κλιμάκια Ελέγχου Ποιότητας Περιβάλλοντος, η Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος, ο Συνήγορος του Πολίτη, το Σώμα Επιθεωρητών Δημόσιας Διοίκησης, ο Γενικός Επιθεωρητής Δημόσιας Διοίκησης, καθώς και ο Κοινοβουλευτικός Έλεγχος. Οι αρμοδιότητες και η ελεγκτική τους εμβέλεια ποικίλλουν<sup>49</sup>.

48. Με την εφαρμογή του σχεδίου «Καλλικράτης» οι αρμοδιότητες πιθανόν να μεταφερθούν στις Περιφέρειες

49. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε WWF Ελλάς, Συνήγορος του Πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Νομικός Οδηγός, Αθήνα, Α' μέρος, κεφ. 6

# 8

## Ρόλος και δράσεις της κοινωνίας των πολιτών για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα



**Σ**ήμερα - περισσότερο από ποτέ - η προστασία του περιβάλλοντος, γενικότερα, και η προστασία της ποιότητας του αέρα, ειδικότερα, δεν είναι μόνο υπόθεση των φορέων της πολιτείας και του κράτους, ούτε μόνο ευθύνη των μεγάλων εγκαταστάσεων που επιβαρύνουν τον αέρα με σημαντικές ποσότητες ρύπων · είναι υπόθεση που αφορά τον καθένα μας

Έτσι, συνειδητοποιώντας, αφενός, την ευθύνη και, αφετέρου, τις πολλές δυνατότητες και τη δύναμη που έχουν οι πολίτες, ας πλαισιώσουμε και ας συμπληρώσουμε προς κάθε κατεύθυνση τις προσπάθειες - όπου έχουν ήδη ξεκινήσει - και ας είμαστε έτοιμοι να αρχίσουμε νέες, προς την κατεύθυνση της μείωσης των εκπομπών για την εξασφάλιση καθαρότερου ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος για εμάς αλλά και για τις επόμενες γενιές.

## 8.1

### ΑΜΕΣΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

---

Πρώτα απ' όλα, ας ξεκινήσουμε από δράσεις που είναι εφικτές για τον καθένα μας και εξαρτώνται κύρια από τη δική μας βούληση, την παιδεία μας αλλά και την υπεύθυνη ενημέρωση.

Η σωστότερη ενημέρωση για όλα τα θέματα που αφορούν την ποιότητα της ζωής μας και τη βελτίωσή της σήμερα - περισσότερο από ποτέ - θα πρέπει να είναι μέρος της καθημερινότητάς μας, τόσο ουσιαστικό όσο είναι και η καθημερινή φροντίδα μας για την κάλυψη των αναγκών επιβίωσής μας.

Ας ξεκινήσουμε από τις δικές μας εκπομπές, για παράδειγμα από το σπίτι μας και το αυτοκίνητό μας. Μπορούμε με απλά μέσα και μέτρα να μειώσουμε τις εκπομπές, εξασφαλίζοντας την καλή λειτουργία των καυστήρων των κτιρίων και των κινητήρων των αυτο-

κινήτων με καλή συντήρηση και ελέγχους. Τακτική συντήρηση των καυστήρων κεντρικής θέρμανσης και έλεγχος καλής λειτουργίας του κινητήρα του αυτοκινήτου μας είναι πρακτικές απόλυτα εφικτές.

## ■ ΚΤΙΡΙΑ - ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ

Σε ό,τι αφορά τα υπάρχοντα κτίρια, η αντικατάσταση των καυστήρων πετρελαίου με καυστήρες φυσικού αερίου είναι, πλέον, δυνατή για μεγάλο τμήμα του οικιστικού ιστού στην Αττική και σε άλλες μεγάλες πόλεις. Το φυσικό αέριο είναι καθαρότερο και αποδοτικότερο καύσιμο από το πετρέλαιο. Παρεμβάσεις συντήρησης στα κτίρια με στόχο τη μείωση των απωλειών θερμότητας δεν είναι μόνο απαραίτητες για οικονομικούς λόγους, αλλά συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση της διάρκειας χρήσης των συστημάτων θέρμανσης. Για τα νέα κτίρια, χρειάζεται πλέον να ενημερωθούμε και να εφαρμόσουμε σύγχρονες μεθόδους δόμησης που είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον και εξασφαλίζουν ταυτόχρονα μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, αλλά και ελαχιστοποίηση εκπομπών από συστήματα θέρμανσης του χώρου και του νερού. Τέτοιες προδιαγραφές για τα κτίρια αναμένεται να ενσωματωθούν άμεσα και στη διαδικασία αδειοδότησης των νέων οικοδομών.

## ■ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Για τις μεταφορές μας σε κοντινές, σχετικά, αποστάσεις, όπως, για παράδειγμα, μέσα στην πόλη, η αποφυγή της χρήσης του δικού μας μέσου, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και η χρήση «εναλλακτικών» μη ρυπογόνων μέσων, όπως, για παράδειγμα, το ποδήλατο, έχει γίνει ήδη καθημερινή πρακτική σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες και πόλεις. Υβριδικά αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας είναι διαθέσιμα στην αγορά και θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν σε κάποιο ποσοστό τα παλιά, αν και ακόμα το κόστος τους είναι πολύ υψηλό.

## ■ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

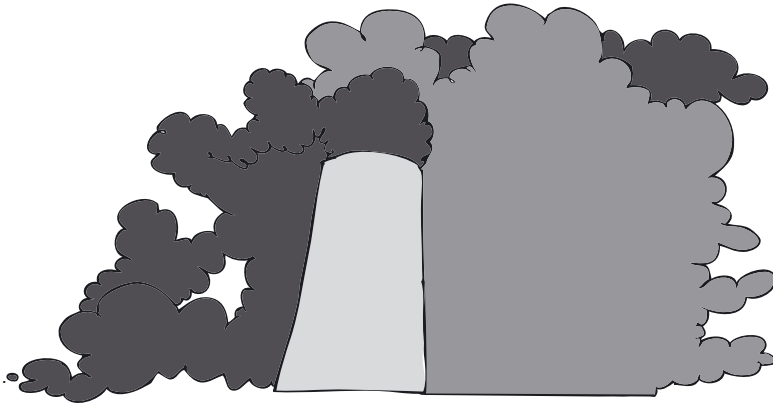
Πρώτα απ' όλα, φαίνεται από όσα ήδη έχουμε εκθέσει στα προηγούμενα κεφάλαια ότι παράλληλα με κάθε παρέμβαση σε ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις, θα πρέπει να θεμελιωθεί σωστά ό,τι καινούργιο θα δημιουργηθεί ως παραγωγική διαδικασία. Σήμερα, υπάρχουν πολλά παραδείγματα φιλικών στο περιβάλλον βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων που λειτουργούν με επιτυχία σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ενίσχυση της παιδείας και της ενημέρωσης των ανθρώπων των επιχειρήσεων, ώστε να γίνει συνείδηση ότι οικονομικό όφελος και προστασία του περιβάλλοντος δεν είναι αντικρουόμενοι στόχοι αλλά, αντίθετα, συμπορεύονται στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης τόσο ενέργειας όσο και πρώτων υλών, θα οδηγήσει σίγουρα και στη χώρα μας προς καθαρότερες παραγωγικές διαδικασίες.

Σχετικά με τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που δεν εξαρτώνται από τους απλούς πολίτες, όπως αυτές από βιοτεχνικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια ότι και το θεσμικό πλαίσιο είναι αρκετά πλήρες, και οι τεχνολογίες που ήδη υπάρχουν είναι σε μεγάλο βαθμό αποτελεσματικές. Όμως, θέματα όπως της εφαρμογής των όρων και των τεχνολογιών, της συστηματικής καταγραφής δεδομένων από τους αρμόδιους φορείς και της διεξαγωγής από την πολιτεία συστηματικών ελέγχων με την απαραίτητη συχνότητα και συνέπεια βρίσκονται στη χώρα μας σε πρώιμα στάδια ωρίμανσης. Στα θέματα αυτά είναι απαραίτητο σήμερα, με κάθε τρόπο, να διαδραματίσουμε ουσιαστικό ρόλο. Τέτοια απαραίτητα και άμεσα μέτρα που θα οδηγήσουν στον περιορισμό αυθαιρεσιών και στην αποτελεσματική τήρηση των περιβαλλοντικών όρων από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι:

- Η ενίσχυση των μηχανισμών συστηματικής καταγραφής των δεδομένων που αφορούν τις βιομηχανικές εκπομπές με στόχο την παραγωγή αξιόπιστων βάσεων.

- Η ενίσχυση των ελεγκτικών μηχανισμών με το απαραίτητο πλήθος εξειδικευμένων ανθρώπων.
- Η συστηματική διεξαγωγή πλήρων και τακτικών ελέγχων στις βιομηχανίες από τους αρμόδιους φορείς.
- Η βελτίωση των μηχανισμών διάθεσης και πρόσβασης των στοιχείων στους ενδιαφερόμενους φορείς με τη μέγιστη δυνατή διαφάνεια.

**Αυθαίρετες και παράνομες πράξεις** που οδηγούν σε επεισόδια τοπικής ρύπανσης, όπως, για παράδειγμα, **ανοιχτές καύσεις σκουπιδιών**, θα πρέπει να καταγγέλλονται άμεσα και να αποτρέπονται ατομικά από τον καθένα μας και συλλογικά μέσω φορέων πολιτών και πολιτείας.



## 8.2

### ΕΜΜΕΣΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

---

Όλοι πια παραπονούμαστε έντονα για την ποιότητα της ζωής μας στα αστικά κέντρα της χώρας. Είδαμε ότι στα αστικά κέντρα η κύρια πηγή εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων είναι τα πάσης φύσεως τροχοφόρα. Παρότι η κατάσταση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος των Ελληνικών μεγαλουπόλεων φαίνεται να είναι βελτιωμένη σε σχέση με αυτήν της δεκαετίας του 1980, όλοι αναγνωρίζουμε ότι έχουμε να κάνουμε πολλά ακόμα. Είναι, πλέον, αναγκαία για τη χώρα μας, και ιδιαίτερα για τις Ελληνικές πόλεις, η ενθάρρυνση της δημιουργίας κάθε υποδομής που περιορίζει και αποτρέπει την άναρχη κυκλοφορία των οχημάτων, αλλά και περιορίζει σημαντικά τη χρήση τους. Η δημιουργία νέων τέτοιων υποδομών, αλλά και η φροντίδα, περιφρούρηση και αναβάθμιση αυτών που ήδη υπάρχουν, αλλιάζουν σημαντικά την ποιότητα και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί από την εφαρμογή τέτοιων πρακτικών σε άλλες χώρες.

Η γενικότερη αναβάθμιση του περιβάλλοντος και, ιδιαίτερα, του αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος, συνεισφέρει αποτελεσματικά και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Για παράδειγμα, η ενίσχυση του οικιστικού ιστού με περισσότερους ελεύθερους χώρους, χώρους πρασίνου και περιπάτου, ποδηλατόδρομους κ.λπ., δίνουν κυριολεκτικά «ανάσες» και συνεισφέρουν σημαντικά και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα των αστικών κέντρων.

Οι μεγάλες ελληνικές πόλεις υστερούν έναντι των ευρωπαϊκών πόλεων στην αναλογία διαθέσιμων χώρων πρασίνου ανά κάτοικο. Η Αθήνα βρίσκεται χαμηλά στον Ευρωπαϊκό κατάλογο, με μόλις 2,3 τ.μ. ανά κάτοικο, ενώ η Θεσσαλονίκη προηγείται με μικρή δια-



φορά, 2,7 τ.μ. ανά κάτοικο<sup>50</sup>. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές για τους ελεύθερους χώρους στην πόλη (ΦΕΚ Δ' 285/5.3.2004), η συνολική επιφάνεια ελεύθερων χώρων ανά κάτοικο που αντιστοιχεί σε νησίδες πρασίνου, πλατείες, παιδικές χαρές, πάρκα και πάρκα πόλης θα πρέπει να φτάνει τα 8 τ.μ. Παρότι αυτό είναι ένα επιθυμητό και όχι υποχρεωτικό όριο, είναι αυτονόητο ότι οι πολίτες, ατομικά και συλλογικά, θα πρέπει να φροντίζουν σε κάθε περίπτωση για την υλοποίησή του.

Ο κάθε πολίτης έχει δικαίωμα να απευθυνθεί ή να προσφύγει σε οποιοδήποτε θεσμικό όργανο, στην τοπική αυτοδιοίκηση, στις υπηρεσίες των Υπουργείων, στη δικαιοσύνη. Όπως ήδη έχει παρουσιαστεί σε άλλους Οδηγούς της σειράς αυτής<sup>51</sup>, και θα επαναλάβουμε και σε αυτόν τον Οδηγό, υπάρχουν «κλειδιά» και «χρυσοί κανόνες» για το πώς απευθυνόμαστε στα θεσμικά όργανα και, γενικότερα, για το πώς θα πετύχουμε τους στόχους και τις διεκδικήσεις μας.

Η ενίσχυση και η ενθάρρυνση της ενημέρωσης μέσω της επικοινωνίας είναι σημαντικότερο εργαλείο. Στις μέρες μας, έχουμε μεγάλη ευχέρεια πρόσβασης και, κυριολεκτικά, «βομβαρδιζόμαστε» περισσότερο από ποτέ από πληροφορία.

Ενημερωμένοι, ευαισθητοποιημένοι και κοινωνικά υπεύθυνοι πολίτες είναι η κρίσιμη μάζα και δύναμη για οποιαδήποτε κοινωνικά ωφέλιμη και πλέον απαραίτητη αλλαγή.

Πρέπει να αναζητούμε πάντα την **ένωση των δυνάμεών μας** γύρω από κοινούς στόχους. Όσοι περισσότεροι είναι αυτοί που διεκδι-

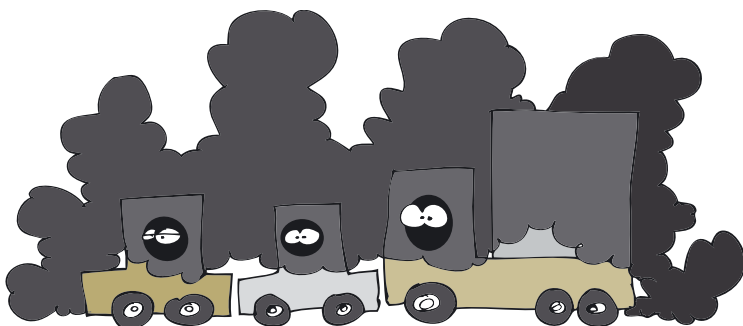
50. Μπελαβίλας Ν., Βαταβάλη Φ., 2009. Οδηγός για το περιβάλλον, Πράσινο και ελεύθεροι χώροι στην πόλη, WWF Ελλάς, Αθήνα

51. WWF Ελλάς, Συνήγορος του πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον, Νομικός Οδηγός, Αθήνα

Συρακούλης Κ., Φεφές Μ., Πούλιου Α., 2009. Οδηγός για το περιβάλλον, Οργάνωση και λειτουργία περιβαλλοντικών οργανώσεων, WWF Ελλάς, Αθήνα

κούν ή προσφεύγουν, τόσο ισχυρότερο γίνεται το αίτημα. Συγκροτούμε, λοιπόν, ενώσεις πολιτών και διεκδικούμε, κατά προτίμηση συλλογικά.

Σημαντικότερη είναι η τεκμηρίωση του αιτήματος ή της διεκδίκησής μας με όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία, τόσο τεχνικά όσο και νομικά. Επιστημονικοί φορείς, επιμελητήρια, ανεξάρτητες αρχές και ΜΚΟ έχουν δώσει πολύτιμη βοήθεια σε διάφορες διεκδικήσεις που αφορούν την προστασία, την αποφυγή της επιβάρυνσης και τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος<sup>52</sup>.



52. Περισσότερα παραδείγματα δράσεων που αφορούν στην αντιμετώπιση περιστατικών ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορείτε να βρείτε στην ιστοσελίδα της ανεξάρτητης αρχής «Συνήγορος του Πολίτη», [http://www.synigoros.gr/perivallon/fysiko\\_05.htm](http://www.synigoros.gr/perivallon/fysiko_05.htm)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### ■ ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Baird, C., 1995. Environmental Chemistry, W.H. Freeman and Company.

Bardouki H., Liakakou H., Economou C., Smolic J., Zdimal V., Eleftheriadis K., Lazaridis M. and Mihalopoulos N., 2003. Chemical composition of size resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter, *Atmos. Environ.*, 37, p. 195-208.

Bergametti G., Dutot A. L., Buat-Menard P., Losno R. and Remoudaki E., 1989a. Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the Northwestern Mediterranean. *Tellus*, 41 B, p. 353-361.

Bergametti G., Gomes L., Remoudaki E., Desbois M., Martin D., Buat-Menard P., 1989b. Present transport and deposition patterns of African dust to the Northwestern Mediterranean in Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport, M. Leinen and M. Sarnthein eds, NATO ASI Series No 282, Kluwer Publ. Company, Dordrecht, p. 227-252.

Boubel R.W., Fox D. L., Turner D. B. and Stern A. C., 1994. Fundamentals of Air Pollution, Third Edition, Academic press.

Buat-Menard P., Davies J., Remoudaki E., Miquel J. C., Bergametti G., Lambert C., Ezat U., Quetel C., La Rosa J. and Fowler S. W., 1989. Non-steady-state biological removal of atmospheric particles from Mediterranean surface waters, *Nature*, Vol. 340, No 6229, p. 131-134.

Correa S.M., Arbilla G., Nov 2006. Aromatic hydrocarbon emissions in diesel and biodiesel exhaust, *Atmos. Environ.*, Vol. 40 (35), 6821-6826.

De Nevers N., 1995. Air Pollution Control Engineering, Mc Graw Hill.

Dimitrakopoulos A.P., 1990. A synopsis of the Greek wildland fire problem. *Int For Fire News* 4, p.6-7

EIPPCB, 2005. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau [EIPPCB]. Best available techniques (BAT) for the combustion of coal and lignite, [http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/lcp\\_Coal&Lignite\\_BAT.pdf](http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/lcp_Coal&Lignite_BAT.pdf).

EMEP/CORINAIR, 2002. Atmospheric emission inventory guidebook, 3rd edn. EEA technical report No 30, EMEP task force on Emission Inventories.

European Environment Agency, European Pollutant Emission Register [http://eper.eea.europa.eu/eper/Activity\\_facilityList.asp?year=2004&area-GR&id=2&EmissionAir=on&EmissionWaterDirect=on&EmissionWaterIdirect=on](http://eper.eea.europa.eu/eper/Activity_facilityList.asp?year=2004&area-GR&id=2&EmissionAir=on&EmissionWaterDirect=on&EmissionWaterIdirect=on)

Hansen A.C., Gratton M.R., Yuan W., 2006. Diesel engine performance and NO<sub>x</sub> emissions from oxygenated biofuels and blends with diesel fuel, TRANSACTIONS OF THE ASABE, Vol. 49 (3), p. 589-595.

IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policy Makers, In Solomon S. Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt KB., Tignor M., Miller HL. (eds) Climate Change 2007: the Physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report Of IPCC, Cambridge University Press, New York.

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report, <http://www.ipcc.ch/>

James E., Girard Ph. D., 2004. Principles of Environmental Chemistry, Jones & Bartlett Publishers, 1st edition.

Kallos G., Astitha M., Katsafados P. and Spyrou C., 2007. Long-range transport of anthropogenically and naturally produced particulate matter in the Mediterranean and North Atlantic: current state of knowledge, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 1230-1250.

Lazaridis M., Latos M., Aleksandropoulou V., Hov O, Papayannis A., Torseth K., 2008. Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece, Air Qual Atmos Health, 1:143-158.

Lin C. Y., Lyn H. A., 2007. Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process, *FUEL*, Vol 85(3), Feb 2006, p. 298-305.

Manahan S. E., 2008. *Fundamentals of Environmental Chemistry*, CRC, 3rd Edition.

Masters G. M., 1991. *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, p. 389.

Masters G. M., Wendell P, 2007. *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, 3rd edition.

Mc Cormick R. L., The impact of biodiesel on pollutant emissions and public health, *Inhalation toxicology*, Vol 19, Issue 12, Sep 2007, 1033-1039.

Moran and Morgan, 1997. *Meteorology, The Atmosphere and the Science of Weather*, 5th Edition, Prentice Hall.

Pang X. B., Shi X. Y., Mu Y. J., He H., Shuai S. J., Chen H., Li R. L., Nov 2006. Characteristics of carbonyl compounds emission from a diesel engine using biodiesel-ethanol-diesel as a fuel, *Atmos. Environ.*, Vol 40, 7057-7065.

Papayannis A., Amiridis V., Mona L., Tsaknakis G., Balis D., Bosenberg J., Chaikovski A., De Tomasi F., Grigorov I., Mattis I., Mitev V., Muller D., Nickovic S., Perez C., Pietruczuk A., Pisani G., Ravetta F., Rizi V., Sicard M., Trickl T., Wiegner M., Gerding M., Mamouri R. E., Amico G. D. and Pappalardo G., 2008. Systematic lidar observations of Saharan dust over Europe in the frame of EARLINET (2000-2002), *J. Geophys. Res.*, 113, D10204, doi:10.1029/2007/JD009028.

Papayannis A., Balis D., Amiridis V., Chourdakis G., Tsaknakis G., Zerefos C., Castanho A. D., Nickovic S., Kazadzis S. and Grabowski J., 2005. Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter Raman Lidar spectrophotometric and satellite observations in the frame of EARLINET project, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 2065-2079.

Prospero J. M., 1996. Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean and the Mediterranean, in *The impact of Desert Dust Across the Mediterranean*, edited by S. Guerzoni and R. Chester, p. 133-151, Springer, New York.

Sichletidis L., Tsiotsios I., Gavriilidis A., Chloros D., Gioulekas D., Kottakis I., Pataka A., 2005. The effects of environmental pollution on the respiratory system of children in Western Macedonia, Greece. *J. Invest Allergol Clin Immunol*, Vol. 15(2):117-123.

Spegler J. and Wilson R., 1996. Emission, Dispersion and Concentration of Particles, in *Particles in our Air, Concentrations and Health Effects*, Harvard School of Public Health, Harvard University Press.

Triantafyllou A. G., Kassomenos P. A., 2002. Aspects of Atmospheric Flow and Dispersion of Air Pollutants in a Mountainous Basin. *The Science of the Total Environment* 297, p. 85-103.

Triantafyllou A. G., 2003. Levels and trend of suspended particles around large lignite power stations. *Environmental Monitoring and Assessment* 89, p. 15-34.

Tsitouridou R., Anatolaki Ch., 2007. On the Wet and Dry Deposition of Ionic Species in the Vicinity of Coal-Fired Power Plants, North-western Greece. *Atmospheric Research* 83, p. 93-105.

Turrio-Baldassari L., Battistelli C. L., Conti L., Crebelli R., De Berardia B., Iamicelli A. L., Gambino M., Iannacone S., 2004. Emission comparison of urban bus engine fueled with diesel oil and biodiesel blend, *Science of the Total Environment*, Vol 327 (1-3), p. 147-162.

Wilson R. and Spengler J., 1996. *Particles in our air, Concentrations and Health Effects*, Harvard University Press.

Yang H. H., Shu-Mei Chien, Mei-Yu Lo, John Chi-Wei Lan, Wen-Chang Lu and Yong-Yuan Ku, 2007. Effect of biodiesel on emissions of regulated air pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons under engine durability testing, *Atmos. Environ.*, V 41 (34), 7232-7240.

Zerefos C., Ganev K., Kourtidis K., Tzortziou M., Vasaras A. and Syrakos E., 2000. On the origin of SO<sub>2</sub> above Northern Greece, *Geophys. Res. Lett.*, Vol 27, No3, p. 365-368.

## ■ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βεργενηλάκης Α., Κρητίδης Π., Οικονόμου Λ., Παπάζογλου Ι., Παπανικολάου Ε., Σιδέρης Λ., Σιμόπουλος Α., 1989. Εμείς και η ραδιενέργεια, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.

Βερύκιος Ξ., 2004. Ατμοσφαιρικοί ρύποι και τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους, Τόμος Ι, Διαχείριση Αερίων Ρύπων, ΕΑΠ.

Γεωργιάδης Θ., 2004. Όξινη βροχή, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Δ, Διάθεση αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, ΕΑΠ.

Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)/Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), 2008. Σχέδιο ερευνητικής στρατηγικής ατζέντας της τεχνολογικής πλατφόρμας ενέργειας: «Ο δρόμος προς σταθμούς μηδενικών ρύπων» Κωδικός έργου: 04-ΠΠΚ06, Ενέργεια Ε1: Δημιουργία τεχνολογικής πλατφόρμας στα πλαίσια του πόλου καινοτομίας Δυτικής Μακεδονίας-ΣυνΕνέργεια, Πτολεμαΐδα, Σεπτέμβριος 2008, <http://www.lignite.gr/events/SRA-draft.pdf>.

Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την Περίοδο 2008-2012.

Ζιώμας Ι., 2004. Επιπτώσεις των αερίων ρύπων στους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς και στα υλικά, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Δ, Διάθεση αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, ΕΑΠ.

Ζιώμας Ι., 2004. Μετεωρολογία και διασπορά αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Γ, Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ.

Καιϊίδης, Δ., 1990. Δασικές Πυρκαγιές, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 510.

Κακαράς Εμμ., 2000. Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Εκδόσεις Fountas, 1η Έκδοση, Αθήνα.

Κάκαρη Ε., 2008. Διυλιστήρια: Μονάδα Ανάκτησης Θείου - Μια περιβαλλοντική μονάδα, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, Κοζάνη, [http://eprints.teikoζ.gr/73/1/A\\_32\\_2008.pdf](http://eprints.teikoζ.gr/73/1/A_32_2008.pdf).

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) Αριθ. 1005/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Σεπτεμβρίου 2009 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος.

Μπελαβίλλας Ν., Βαταβάλη Φ., 2009. Οδηγός για το περιβάλλον, Πράσινο και ελεύθερο χώρο στην πόλη, WWF Ελλάς, Αθήνα.

Ξανθόπουλος, Γ., 1998. Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: παρελθόν, παρόν και μέλλον, Επίκεντρα, τεύχος 6, σελ. 62-71.

Ξανθόπουλος Γ., 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Δασοπροστασία και δασοπυρόσβεση, WWF Ελλάς, Αθήνα.

Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη.

Ρεμουντάκη Ε., 2004. Αέριοι ρύποι στην ατμόσφαιρα-τροποσφαιρική χημεία, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Γ, Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ.

Ρεμουντάκη Ε., 2004. Η ατμόσφαιρα, σύσταση και φυσικά χαρακτηριστικά, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Γ, Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ.

Ρεμουντάκη Ε., 2004. Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος - Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση Τόμος Δ, Διάθεση Αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον, ΕΑΠ.

Ρεμουντάκη Ε., 2004. Η σημασία της παρουσίας των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Γ, Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων, ΕΑΠ.

Συρακούλης Κ., Φεφές Μ., Πούλιου Α., 2009. Οδηγός για το περιβάλλον, Οργάνωση και λειτουργία περιβαλλοντικών οργανώσεων, WWF Ελλάς, Αθήνα.



ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση Ε.Α.Ρ.Θ. Τμήμα Βιομηχανιών, 2001. Έργο: Απογραφή αέριων ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία και εκπομπών από την κεντρική θέρμανση, Υποέργο 4: «Επεξεργασία Αποτελεσμάτων Απογραφής - Υπολογισμός Συντελεστών Εκπομπής», Αθήνα, <http://www.minnenv.gr>.

ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση Ε.Α.Ρ.Θ. Τμήμα Βιομηχανιών, 2001. Η Οδηγία 96/61/ΕΚ Για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές, «Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος - Παραγωγή Προϊόντων Διύλισης Πετρελαίου», Αθήνα.

ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006. Γενική Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση Ε.Α.Ρ.Θ.: «Ανάπτυξη υποστηρικτικών εργαλείων για τον προσδιορισμό και την αντιμετώπιση της ρύπανσης από σταθερές πηγές, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Κοινοτικής Νομοθεσίας».

ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008. Εισήγηση για το εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

ΥΠΕΧΩΔΕ, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Βιομηχανιών, 2008. Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων του υπό αναβάθμιση διυλιστηρίου της εταιρίας Ελληνικά Πετρέλαια Α.Ε., που λειτουργεί στο Δήμο Εχεδώρου Ν. Θεσσαλονίκης», Α.Π. 146654/13-3-08, Αθήνα .

Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας, Διεύθυνση Αναανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, 2005. 3η Εθνική Έκθεση για το επίπεδο διεύθυνσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010 ([www.ypan.gr/ape](http://www.ypan.gr/ape)).

Χατζηλευθερίου Κ., Γκάργκουλας Ν., 2001. Η οδηγία 96/61/ΕΚ για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC) και οι ελληνικές προτάσεις για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές: Μη μεταλλικά ορυκτά, ΥΠΕΧΩΔΕ.

Cooper C.D., Alley F.C., 2004. Έλεγχος αέριας ρύπανσης - Σχεδιασμός αντιρρυπαντικής τεχνολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

WWF Ελλάς, Συνήγορος του Πολίτη, 2009. Οδηγός για το περιβάλλον: Νομικός Οδηγός, Αθήνα.

## ■ ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

<http://ape.teicrete.gr>

<http://climate.nasa.gov/evidence/>

<http://prtr.ec.europa.eu/IndustrialActivity.aspx>

[http://www.benzenefyi.com/benzene\\_health\\_effects\\_and\\_treatment.html](http://www.benzenefyi.com/benzene_health_effects_and_treatment.html)

<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>

<http://www.epa.gov/ttn/at/hlthef/benzene.html>,

<http://www.acute-myelogenous-leukemia.com/html/risk.html>

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

<http://www.minenv.gr/4/ypexode4/pdf/mines.pdf>

<http://www.minenv.gr/download/2008-05-12.eisigisi.gia.to.ethniko.sxedio.antimetopisis.tis.atmosferikis.ripansis.doc>

[www.cres.gr](http://www.cres.gr)

[www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)

[www.rae.gr](http://www.rae.gr)

[http://www.synigoros.gr/perivallon/fysiko\\_05.htm](http://www.synigoros.gr/perivallon/fysiko_05.htm)



Η παρούσα έκδοση έγινε με την ευγενική χορηγία της



ISBN: 978-960-7506-14-6