



ΔιΧηNET

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

Διαπανεπιστημιακό Διατηρηματικό
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Διδακτική της Χημείας και Νέες
Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες

Χημεία και Καθημερινή Ζωή
Η Πράσινη Προσέγγιση

Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Πράσινες Λύσεις

Επιβλέποντες
Καθηγητές

Α.Ι. Μαρούλης
Κ. Χατζηπαντωνίου

Καφαλά Λήδα
Μπαγανά Μαρία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2005



Χημεία και Καθημερινή Ζωή. Η Πράσινη Προσέγγιση. Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Πράσινες Λύσεις

Α. Μαρούλης, Κ. Χατζηναντινίου, Α. Κεφαλά, Μ. Μπαγιάνη
Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προέρχεται από την απελευθέρωση αερίων αερίων στην ατμόσφαιρα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι προέρχονται από φυσικές και ανθρώπινα πηγές, διακρίνονται σε πρωτογενείς ή δευτερογενείς και δημιουργούν φαινόμενα που έχουν επιβλαβείς συνέπειες όπως η όξινη βροχή, η κρύση του όζοντος, κ.λπ. Για την αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης η πράσινη χημεία προτείνει την παραγωγή ενέργειας από ήλιο, αέρα, βιοκαύσιμα, θερμότητα της γης και των υδατικών, την αξιοποίηση και ανακύκλωση ενέργειας, αποδοτική ενέργεια και υλικά, την παραγωγή προϊόντων με απολύτως ανθεκτικές, χρήση απορριπτών βιομάζας και αποβλήτων αποβλήτων και αποβλήτων.

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Είναι η παρουσία αερίων αερίων στην ατμόσφαιρα για αρκετά διάστημα και σε τέτοιες συγκεντρώσεις ώστε να προκαλούν προβλήματα στο περιβάλλον, στην ανθρώπινη υγεία και στην ποιότητα ζωής.

Οι επιβλαβείς αυτές συνέπειες δρουν ως ατμοσφαιρικοί ρύποι που διακρίνονται σε:

πρωτογενείς (CO , NO_x , SO_x , VOCs , PM_{10}) εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από φυσικές και ανθρώπινα πηγές, (κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων στο μέσο μεταφοράς, στη βιομηχανία και στα κτίρια)

δευτερογενείς (O_3 , κτηνικά αποβλήτα/αερίδια (PAN), $\text{PM}_{2.5}$) εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς με αερίους αντιδράσεις.

Στις συνέπειες αυτές περιλαμβάνονται διάφορα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων (όπως):

- Το φωτοχημικό νέφος στις αστικές περιοχές
- Το φαινόμενο της όξινης απόβροχης
- Η αεριοποίηση του ατμοσφαιρικού όζοντος
- Η απόδοση του φαινομένου του θερμοκηπίου



ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

Μία από τις βασικές αρχές της Πράσινης Χημείας είναι η **αρχή της πρόληψης**. Στο πλαίσιο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης η αρχή αυτή θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής: **κάθε πρωτότυπο να προλαμβάνει τις επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων αντί να προσπαθεί να τους αντιμετωπίσει αφού οι他们已经存在.**

Μέτρα πρόληψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να είναι:

1. Η χρήση καθυστερημένης μορφής ενέργειας όπως:

• Οι αποδοτικές πηγές ενέργειας

- ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** Φωτοβολταϊκά στοιχεία και ήλιοι συλλέκτες για παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανση νερού και κήπων.
- ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** Αεριογεννήτριες για παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανση νερού.
- ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:** Αερίες και ζεστό νερό από το έδαφος της γης να παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανση/ψύξης, κεραιών και βιομηχανικές εφαρμογές.
- ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΟΚΙΑΝΩΝ:** Θερμική ενέργεια από τις διαφορές θερμοκρασίας του νερού. Μηχανική ενέργεια από τα κύματα και τις παλίρροιας.
- ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ:** Για θέρμανση κήπων, παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού, κίνηση οχημάτων.

• Τα υδρογόνα και τα αποδοτικά καύσιμα

Τα υδρογόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε μηχανή αποδοτικής καύσης και σε κυψίδες ή στοιχεία καυσίμου. Στο στοιχείο καυσίμου το υδρογόνο ενώνεται με οξυγόνο μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας και παράγεται ηλεκτρισμός, θερμότητα και καθαρό νερό. Συστατικές στοιχεία καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φορητά συστήματα, σε οχήματα, σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν μικρή κλίμακα και για αποδοτική παραγωγή.

• Τα βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα είναι η βιοαιθανόλη και το βιομεθάνιο. Παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα διότι εκπέμπουν λιγότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως φρέσκο και στην παραγωγή τους.

Πίνακας 1: Μείζονες εκπομπές βιοαιθανόλης σε σχέση με το καύσιμο αέριο, σύμφωνα με την U.S.EPA

Τύπος εκπομπών	ΒΙΟΗ	ΒΙΟΜ
Αποδοτική αεριοποίηση/θέρμανση	-67%	-10%
Παραγωγή του ατμού	-48%	-12%
Συνολικά	-47%	-12%
Οξείδιο του αζώτου + Οξείδιο	+10%	+2%
Διοξείδιο του θείου + Οξείδιο	-100%	-10%
Πολυκυκλικά αρωματικά υδρογονάνθρακες	-80%	-12%

Πηγή: U.S.EPA, 2004.
* ΒΙΟΗ: 100% βιοαιθανόλη, * ΒΙΟΜ: 100% βιομεθάνιο.
Πηγή: <http://www.epa.gov/ethanol/bioethanol/bioethanol.htm>



2. Η μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων με:

• Συμμετοχολογική διαμόρφωση παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση κήπων και νερού, παραγωγή ατμού, στην ίδια την παραγωγή βιοκαυσίμων ή και για ταξιδιάρικους.

• Αποδοτικότητα θέρμανσης και κλιματισμού.

• Χρήση καταλυτικών διεργασιών

• Ελαστικότητα των διεργασιών κατά τη μεταφορά, διανομή και αποθήκευση των καυσίμων.

3. Η αποδοτικότητα των ορυκτών καυσίμων, η χρήση καυσίμων με μικρότερη περιεκτικότητα σε θείο και όζον, οι διάφορες τεχνικές αλλαγών των καυσίμων, η χρήση υδρογόνου και ηλεκτρισμού καυσίμων μπορούν να συμβάλουν επίσης στην πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

4. Για τους διαλύτες, βασική αρχή των VOCs, η Πράσινη Χημεία προτείνει:

- Έκταση της αρχικής βιομηχανίας σε συνδυασμό με διαδικασίες που θα αποτρέπουν ή όπου αυτό δεν είναι δυνατό, θα περιορίζουν στο ελάχιστο την χρήση των διαλυτών. Στο σημείο αυτό μπορεί να συμβάλουν κατά πολύ και οι **αποδοτικές ή κρίσιμες διαδικασίες** όπως:
 - ✓ Το υπερχείλιμα διαλύεται του διαλύτη.
 - ✓ Το υπερχείλιμα ή υπερθέρμανση νερού.
 - ✓ Οι μικροί διαλύτες.
 - ✓ Οι βιοδιαλύτες.



• Επικαιροποίηση προϊόντων με στόχο την μείωση ή και την απομάκρυνση των ορυκτών διαλυτών από την τελική τους σύσταση.

• Ελαστικότητα των διεργασιών κατά τη μεταφορά, διανομή και αποθήκευση των καυσίμων.

• Επιχειρησιακή και οργανωτική παύση των αποβλήτων.

Τέλος, η εκ των υστέρων αντιμετώπιση των ατμοσφαιρικών ρύπων με καταργώντας των απαιτήσεων, αν και δεν θεωρείται πρόληψη, σε πολλές περιπτώσεις είναι αποδοτική (π.χ. καυσιμότητα αυτοκινήτων), ενώ σε άλλες μπορεί να δράσει συμπληρωματικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Clark L. Pierantoni D., "Handbook of Green Chemistry and Technology", Elsevier Science, 2003.
2. EPA Clean Coal Center Website, <http://www.ecc.cmu.edu/energy/energy.htm>
3. "Bioethanol Energy System", <http://www.bioethanolenergy.com/bioethanolenergy.htm>, 2004, p. 100
4. U.S. Department of Energy, "Information Page: Bio Energy", <http://www.eia.doe.gov/bioenergy/>
5. "Green Industry", <http://www.greenindustry.com/bioenergy/>
6. "Toxicity Organic Compounds in the Atmosphere", John H. Dutton, R. E. Hutton, R. H. The Royal Society of Chemistry, 1993



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία **Πράσινης Χημείας** εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004-2005 στο τμήμα Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και αποτελέσε αντικείμενο του Διαπανεπιστημιακού Διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Διδακτική της Χημείας και Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες».

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στους επιβλέποντες καθηγητές μας, τον κ. Α. Μαρούλη και την κα. Κ. Χατζηαντωνίου, για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας, καθώς και για την επιμέλεια των κειμένων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται από την απελευθέρωση επιβλαβών ουσιών, που προέρχονται από φυσικές πηγές ή οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, παραμένουν δε στην ατμόσφαιρα για αρκετό διάστημα και σε τέτοιες συγκεντρώσεις με τελικό αποτέλεσμα την καταστροφή του περιβάλλοντος, τη βλάβη της ανθρώπινης υγείας και την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς, που εκπέμπονται απευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα (CO , NO_x , SO_2 , VOCs, P.M.) και δευτερογενείς (O_3 , PAN, P.M.), που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς. Τόσον οι πρωτογενείς όσον και οι δευτερογενείς ρύποι προκαλούν φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως το *φωτοχημικό νέφος*, η *όξινη βροχή*, η *καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα* και το *φαινόμενο του θερμοκηπίου*.

Για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης η **Πράσινη Χημεία** προτείνει την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ήλιο, αέρα, βιομάζα, θερμότητα της γης και των ωκεανών), τα στοιχεία καυσίμου και τα βιολογικά καύσιμα. Προτείνει ακόμη εξοικονόμηση ενέργειας με συμ παραγωγή, ανακύκλωση θερμότητας και υλικών και ελαχιστοποίηση των διαφυγών καυσίμων και διαλυτών. Προτείνει επίσης την παραγωγή προϊόντων με τη βοήθεια καταλυτικών αντιδράσεων, την εφαρμογή συνθετικών μεθοδολογιών που αποτρέπουν ή, όταν αυτό δεν είναι δυνατό, περιορίζουν στο ελάχιστο τη χρήση των οργανικών διαλυτών, τη χρήση «πράσινων διαλυτών» (υπερκρίσιμο CO_2 , ιονικοί διαλύτες, βιοδιαλύτες) και τέλος την επεξεργασία αποβλήτων και απαερίων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1-8
1.1. Τι είναι η ατμόσφαιρα;	1
1.2. Τι είναι όμως η αέρια ρύπανση;	3
1.3. Από πού προέρχεται η αέρια ρύπανση;	4
1.4. Ιστορική αναδρομή	5
1.5. Στόχοι – Σκοποί	8
2. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	9-32
2.1. Το μονοξείδιο του άνθρακα (carbon monoxide, CO)	10
2.2. Τα οξείδια του αζώτου (nitrogen oxides, NO _x)	13
2.3. Το διοξείδιο του θείου (sulphur dioxide, SO ₂)	16
2.4. Οι πτητικές οργανικές ουσίες (volatile organic compounds, VOCs)	19
2.5. Το όζον (ozone, O ₃)	25
2.6. Τα αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM)	28
3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	32-51
3.1. Το φωτοχημικό νέφος (photochemical smog)	33
3.2. Η όξινη βροχή (acid rain)	36
3.3. Η καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος	41
3.4. Η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου (greenhouse effect)	45
4. ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ	52-80
4.1. Η σημασία της πρόληψης	53
4.2. Καθαρότερες μορφές ενέργειας	55
4.2.1. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	55
4.2.2. Το υδρογόνο και τα στοιχεία καυσίμου	57

4.2.3. Τα βιοκαύσιμα	59
4.3. Μείωση ενεργειακών απαιτήσεων	62
4.3.1. Συμπαγωγή (Cogeneration)	62
4.3.2. Ανακύκλωση θερμότητας και υλικών	63
4.3.3. Η κατάλυση	63
4.3.4. Η ελαχιστοποίηση των διαφυγών	64
4.4. Πρόληψη και διαλύτες	65
4.4.1. Οι εναλλακτικοί ή πράσινοι διαλύτες	66
4.5. Τεχνολογία	70
4.5.1. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανία	70
4.5.2. Μέσα μεταφοράς	71
4.6. Κατεργασίες απαερίων	73
4.6.1. Μέσα μεταφοράς	73
4.6.2. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανία	75
4.6.2.1. Τα αιωρούμενα σωματίδια	75
4.6.2.2. Τα οξείδια του αζώτου	75
4.6.2.3. Το διοξείδιο του θείου	77
4.6.2.4. Οι οργανικές πτητικές ενώσεις	79
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	81-82
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	83-88
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89-92

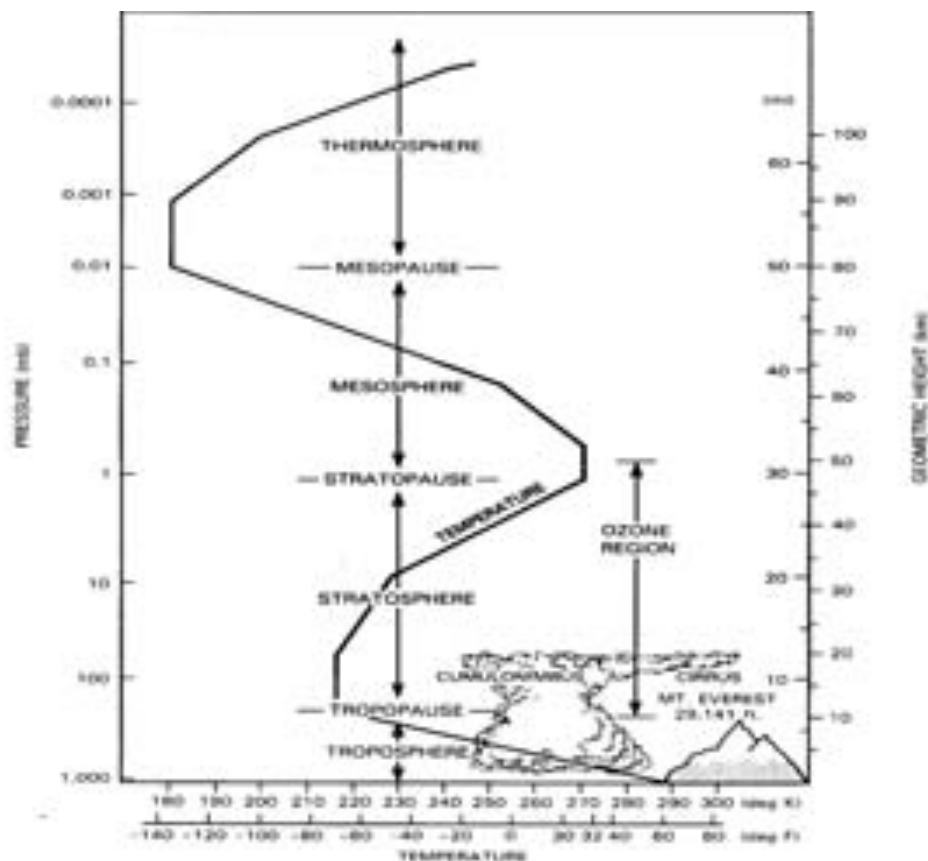
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

“ *Θα βγώ έξω να πάρω καθαρό αέρα*”, είναι μια φράση που ακούγεται πολύ συχνά, αλλά στις μέρες η ποιότητα του αέρα στις πόλεις μας είναι κάθε άλλο παρά καθαρή.

Η σύσταση του καθαρού αέρα είναι:	
Τα αέρια	Μέρη ανά εκατομμύριο κατ'όγκον (ppm)
Άζωτο	756,500
Οξυγόνο	202,900
Νερό	31,200
Αργόν	9,000
Διοξείδιο του άνθρακα	305
Νέον	17.4
Ήλιον	5.0
Μεθάνιο	0.97-1.16
Κρυπτόν	0.97
Οξείδιο του αζώτου	0.49
Υδρογόνο	0.49
Ξένον	0.08
Οργανικοί ατμοί	ca.0.02

1.1. Τι είναι η ατμόσφαιρα;

Η ατμόσφαιρα της γης είναι ένα λεπτό περίβλημα αερίων γύρω από τη γη. Περιλαμβάνει ουσίες όπως το οξυγόνο που είναι βασικό συστατικό για τη λειτουργία της αναπνοής, το διοξείδιο του άνθρακα που είναι αναγκαίο για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, το άζωτο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή αμινοξέων και διαφέρει από τις ατμόσφαιρες άλλων πλανητών του ηλιακού συστήματος.



Σχήμα 1.1. Οι διάφορες περιοχές στις οποίες χωρίζεται η ατμόσφαιρα.

Πηγή: www.ace.uwaterloo.ca/Websites_Links/Links_Gallery.php?header=intro

Ανάλογα προς τη μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την αύξηση του ύψους από την επιφάνεια της γης, η ατμόσφαιρα της γης μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στρώματα:

- i. Την *τροπόσφαιρα*, το κατώτερο δηλαδή στρώμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από την επιφάνεια της γης μέχρι το ύψος των 15 περίπου χιλιομέτρων. Το ανώτατο όριο της τροπόσφαιρας ονομάζεται τροπόπαυση και σηματοδοτεί το σημείο στο οποίο η φορά της θερμοκρασιακής αλλαγής αντιστρέφεται.
- ii. Την *στρατόσφαιρα*, η οποία διαδέχεται την τροπόσφαιρα και εκτείνεται μέχρι το ύψος των 50 περίπου χιλιομέτρων. Στη στρατόσφαιρα όσο αυξάνεται το ύψος τόσο αυξάνεται και η θερμοκρασία που φτάνει σχεδόν μέχρι τους 0°C. Η αύξηση στη θερμοκρασία αποδίδεται στην

- ύπαρξη του στρώματος του όζοντος, το οποίο απορροφά την ηλιακή ενέργεια. Το ανώτατο όριο της στρατόσφαιρας είναι η στρατόπαυση, στην οποία συντελείται μια δεύτερη αντιστροφή της θερμοκρασίας.
- iii. Την *μεσόσφαιρα*, η οποία εκτείνεται μέχρι το ύψος των 85 περίπου χιλιομέτρων. Στη μεσόσφαιρα η θερμοκρασία μειώνεται φτάνοντας σχεδόν τους -90°C σε ύψος 85 χιλιομέτρων. Το ανώτατο όριο της μεσόσφαιρας είναι η μεσόπαυση
 - iv. Την *θερμόσφαιρα*, η οποία διαδέχεται τη μεσόσφαιρα και εκτείνεται μέχρι το ύψος των 400 περίπου χιλιομέτρων. Σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία αυξάνεται όσο αυξάνεται το ύψος και φτάνει μέχρι τους 1200°C στο ύψος των 500 περίπου χιλιομέτρων.

1.2. Τι είναι όμως η ατμοσφαιρική ρύπανση;

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η προσθήκη επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα για αρκετό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση ώστε να είναι δυνατόν να προκαλέσουν καταστροφή του περιβάλλοντος, της ανθρώπινης υγείας και της ποιότητας ζωής. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα από τα πολλά είδη ρύπανσης. Συντελείται μέσα στα σπίτια, στα σχολεία, στα γραφεία. Εμφανίζεται επίσης στις πόλεις, κατά μήκος των ηπείρων ακόμη και παγκοσμίως. Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί βλάβες στην υγεία των ανθρώπων – δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα και ευνοεί την εμφάνιση καρκίνου – βλάπτει επίσης τα φυτά, τα ζώα και τα οικοσυστήματα στα οποία αυτά ζουν. Μερικοί αέριοι ρύποι επιστρέφουν στη γη με τη μορφή της όξινης βροχής (acid rain) και του χιονιού, τα οποία διαβρώνουν τα αγάλματα και τα κτίρια, καταστρέφουν τις σοδειές και τα δάση, και κάνουν τις λίμνες και τα ποτάμια ακατάλληλα για τα ψάρια και κάθε είδους έμβιους οργανισμούς (δηλαδή φυτά ή ζώα).

Η ρύπανση αλλάζει την ατμόσφαιρα της γης κατά τρόπο που επιτρέπει την είσοδο περισσότερης επιβλαβούς ακτινοβολίας από τον Ήλιο. Ταυτόχρονα, η μολυσμένη μας ατμόσφαιρα γίνεται ο καλύτερος μονωτής, εμποδίζοντας τη θερμότητα να δραπετεύσει και πάλι στο διάστημα και οδηγώντας έτσι σε μια αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία αναφέρεται ως αύξηση της θερμοκρασίας της γης (global warming) θα επηρεάσει τον τροφικό ανεφοδιασμό του κόσμου, θα μεταβάλει τη στάθμη της θάλασσας, θα κάνει τα καιρικά φαινόμενα περισσότερο έντονα και θα αυξήσει τη διάδοση τροπικών ασθενειών.

1.3. Από πού προέρχεται η ατμοσφαιρική ρύπανση;

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα: από την καύση των ορυκτών καυσίμων (το κάρβουνο, το πετρελαίο και το φυσικό αέριο) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και στην κίνηση των οχημάτων. Ανάμεσα στις διάφορες επιβλαβείς ουσίες που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από αυτή την καύση είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και μικροσκοπικά στερεά σώματα – όπως ο μόλυβδος από τα πρόσθετα του πετρελαίου – τα οποία ονομάζονται σωματίδια (PM = Particulate Matter). Όταν τα καύσιμα καίγονται ατελώς, ποικίλες χημικές ουσίες που ονομάζονται πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs) εκλύονται στον αέρα. Οι ρύποι μπορεί να προέρχονται και από άλλες πηγές. Για παράδειγμα η αποσύνθεση των απορριμμάτων στις χωματερές και η καταστροφή των στερεών αποβλήτων εκλύει αέριο μεθάνιο και πολλά οικιακά προϊόντα εκλύουν πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs).

Κάποιοι από αυτούς τους ρύπους προέρχονται και από φυσικές πηγές (πυρκαγιές δασών, εκρήξεις ηφαιστειών). Για παράδειγμα οι πυρκαγιές των δασών εκλύουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες ρύπων όπως άκαυστους υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου. Οι εκρήξεις ηφαιστειών εκλύουν διάφορα επιβλαβή αέρια όπως το μεθάνιο, το διοξείδιο του θείου και το υδρόθειο, τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις από την ηφαιστειακή πηγή, ρυπαίνοντας έτσι και άλλες περιοχές.

1.4. Ιστορική αναδρομή

Στην προϊστορική εποχή, εκεί γύρω στο 6000 Π.Χ. οι πυρκαγιές και η αποψίλωση των δασών για τη δημιουργία καλλιεργησίμων εδαφών οδήγησε στη διάβρωση τους και στη βαθμιαία ερημοποίηση διαφόρων περιοχών με αποτέλεσμα την παρακμή των ανθρώπινων κοινωνιών που ζούσαν σε αυτές. Η διάβρωση αυτή των εδαφών είχε επίσης ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση φερτών υλών προς τη θάλασσα, με αποτέλεσμα την επέκταση της στεριάς εις βάρος της θάλασσας.

Στους συγγραφείς της αρχαίας Ελλάδας αναφέρονται περιπτώσεις καταστροφών του περιβάλλοντος από ορυχεία μετάλλων (χαλκού) και από αποψίλωση δασών.

Στα ρωμαϊκά χρόνια αναφέρονται επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που εργάζονταν σε ορυχεία καθώς επίσης και η συσσώρευση απορριμάτων και καπνού στην πόλη της Ρώμης. Όλο αυτό το διάστημα οι Ρωμαίοι είναι γνώστες του προβλήματος της αέριας ρύπανσης (οι οσμές και οι εκπομπές από τα απορρίμματα, από τα ύδατα των υπονόμων και από τα χυτήρια και τα βυρσοδεψία ρύπαιναν τον αέρα και το νερό) και αναφέρονται σε αυτήν χαρακτηριστικά με όρους όπως *gravioris caeli* δηλαδή πεφορτισμένος ουρανός ή αλλιώς *infamis aer*, δηλαδή άτιμο νέφος. Όλο αυτό το διάστημα οι

άνθρωποι προσπαθούσαν να περιορίσουν με νόμους την καταστροφή των δασών και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τέτοιες προσπάθειες είναι γνωστές το 2700, 250,80 π.Χ. και το 535 μ.Χ.

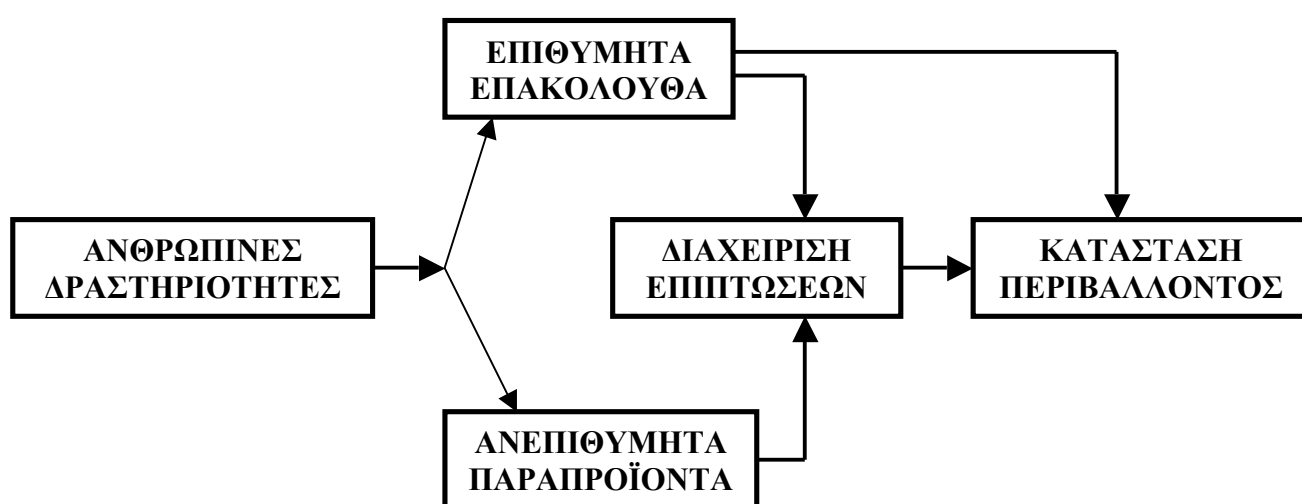
Στη μεσαιωνική Ευρώπη δημιουργούνται συχνά προβλήματα στις πόλεις από την καύση του ξύλου και του κάρβουνου για τη θέρμανση των κτιρίων σε σημείο που να αναφέρεται ότι η Βασίλισσα Ελεονόρα της Προβηγκίας αναγκάστηκε να εγκαταλείψει το κάστρο του Nottingham και να πάει στο κάστρο του Tutbury. Αναφέρονται επίσης προβλήματα υγείας στον πληθυσμό, τα οποία σχετίζονται με τη διάθεση των απορριμάτων των πόλεων, των σφαγείων και των γεωργικών προϊόντων και επιχειρούνται νομοθετικές ρυθμίσεις. Αναγνωρίζεται η δυσμενής επίδραση του αέρα των ορυχείων στους εργαζόμενους σε αυτά. Το 1546 διατυπώνεται η πρώτη υπόθεση για τη μετάδοση μολυσματικών ασθενειών.

Την εποχή της Αναγέννησης έχουμε καύση του ξύλου και του κάρβουνου για την κίνηση των εργοστασίων. Αυτό συνεπάγεται ρύπανση του αέρα από τον καπνό και καταστροφή των δασών. Το 1690 κατασκευάζεται το πρώτο αποχετευτικό σύστημα στο Παρίσι, αν και ήταν ήδη γνωστά διάφορα αποχετευτικά συστήματα από τους ιστορικούς χρόνους. Στην Αμερική ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (1706-1790) προσπαθεί να ρυθμίσει τη διάθεση των λυμάτων και να αντιμετωπίσει τη ρύπανση των υδάτων από τα βυρσοδεψία και άλλες δραστηριότητες.

Η εποχή που είναι γνωστή ως *βιομηχανική επανάσταση* ήταν μια περίοδος όπου πραγματοποιήθηκαν καθοριστικές αλλαγές στη γεωργία, στην κατεργασία των υφασμάτων και των μετάλλων, στις μεταφορές, στην οικονομική πολιτική αλλά και στην κοινωνική δομή της Αγγλίας. Αυτή η περίοδος ονομάζεται *επανάσταση* καθότι άλλαξε εντελώς ο τρόπος με τον οποίο τα πράγματα κατασκευάζονταν. Στην πραγματικότητα, οι αλλαγές που συνέβησαν σε αυτή την περίοδο (1760-1850) έγιναν σταδιακά. Το 1760 έχει οριστεί ως η αρχή της βιομηχανικής επανάστασης. Μεταξύ των καλών

συνεπειών της βιομηχανικής επανάστασης ήταν και η πρόοδος των γεωργικών και βιομηχανικών τεχνικών και η ανάπτυξη του εμπορίου που είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής καθώς και της διαθεσιμότητας των τροφίμων. Ως συνέπεια των παραπάνω, ακολούθησε μια ραγδαία αύξηση του πληθυσμού.

Οι τρεις βασικοί ανθρωπογενείς παράγοντες δημιουργίας του περιβαλλοντικού προβλήματος είναι ο πληθυσμός, η κατανάλωση και η τεχνολογία παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών. Από αυτούς προκύπτουν επιθυμητά επακόλουθα αλλά ταυτόχρονα και ανεπιθύμητα παραπροϊόντα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν (βλ. σχήμα 1.1.). Δεδομένης της πεπερασμένης χωρητικότητας του φυσικού περιβάλλοντος να απορροφήσει τα παραπροϊόντα, συσσωρεύτηκαν αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, οι οποίες έγιναν σαφώς αντιληπτές στη δεκαετία του 60. Τότε, στη δεκαετία του 60 ήταν που γεννήθηκε ουσιαστικά το Οικολογικό Κίνημα. Τότε προέκυψε η ανάγκη για προστασία του ανθρώπου, για διαχείριση των επιπτώσεων και των αποβλήτων και για Αντιρρυπαντική Τεχνολογία.



Σχήμα 1.1. Πηγή: Δ.Χ. Παναγιωτακόπουλος, 6^ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σάμος 1999.

Στις επόμενες δύο δεκαετίες του 1970 και του 1980 έγινε σαφέστερος ο κίνδυνος της ικανότητας του ανθρώπου να καταστρέψει τον πλανήτη. Υπήρξε

πιο έντονη αντίδραση και περισσότεροι Περιβαλλοντολόγοι ευδοκίμησαν. Πολλά πανεπιστημιακά τμήματα, διεθνώς, μετονομάζονται ώστε να περιέχει ο τίτλος τους και το περιβάλλον. Οριοθετείται και νομοθετείται η περιβαλλοντική ποιότητα, έστω σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο.

Η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων χημικών προϊόντων σε περιορισμένο χώρο, όπως αποθήκες, εργοστάσια, πλοία είχε ως αποτέλεσμα να προκληθούν μεγάλες καταστροφές από ατυχήματα που ήταν πιθανόν να συμβούν όπως ναυάγια πετρελαιοφόρων και πυρηνικών υποβρυχίων, εκρήξεις και φωτιές σε εργοστάσια (π.χ. Διάνα, Seveso, Chernobyl).

Στο τέλος της προηγούμενης δεκαετίας η νέα επιστημονική περιοχή της Διαχείρισης Αποβλήτων και της Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας εδραιώνεται στη χώρα μας και δημιουργούνται πανεπιστημιακά τμήματα Περιβάλλοντος. Καλλιεργείται η έννοια της Βιώσιμης Ανάπτυξης η οποία κατά μια έννοια είναι *«η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες»*.

1.5. Στόχοι - Σκοποί

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν πιο σφαιρικά το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και να συγκεντρώσουμε ένα υλικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας εξετάζονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι πηγές τους και οι επιπτώσεις τους στην υγεία. Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (όξινη βροχή, φαινόμενο θερμοκηπίου, κ.λ.π.) που έχουν άμεση επίδραση στην υγεία των ανθρώπων, στο περιβάλλον και το κλίμα του πλανήτη μας. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι λύσεις που επί του παρόντος προτείνει η Πράσινη Χημεία για την πρόληψη και την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

2. ΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ



Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.

- Οι **πρωτογενείς ρύποι** εκπέμπονται απευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα και οι σημαντικότεροι είναι: το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO_2), διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις, καθώς και πολλά από τα αιωρούμενα σωματίδια.

- Οι **δευτερογενείς ρύποι** σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός, της θερμότητας και της υγρασίας. Σημαντικότεροι είναι το (τροποσφαιρικό) όζον (O_3), τα νιτρικά ακυλοϋπεροξείδια (PAN) και άλλα συστατικά του φωτοχημικού νέφους (βλ.&3.1), καθώς και ένα άλλο τμήμα των αιωρούμενων σωματιδίων.

2.1. ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας από τους πιο κοινούς αέριους ρύπους. Είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κυρίως ως προϊόν ατελών καύσεων.

Πηγές εκπομπής

Το μονοξείδιο του άνθρακα εκλύεται στην ατμόσφαιρα τόσο από φυσικές όσο και ανθρωπογενείς πηγές. Μονοξείδιο του άνθρακα εκλύεται από τα ηφαίστεια, τις φυσικές πυρκαγιές, από ορισμένα είδη φυκιών και άλλων υδροφίλων φυτών, καθώς και κατά την εκβλάστηση ορισμένων σπόρων.

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές οφείλονται κυρίως σε διεργασίες (ατελούς) καύσεως ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Επίσης μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται στα ανθρακωρυχεία και από τις αντιδράσεις οξείδωσης των πτητικών οργανικών ενώσεων (κυρίως των υδρογονανθράκων) στην ατμόσφαιρα.

Το 2002 προσετέθησαν στον ελληνικό ουρανό 1366 kt³ CO που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Σύμφωνα με τις στατιστικές οι βασικές ανθρωπογενείς πηγές CO στην Ελλάδα είναι οι μεταφορές (ποσοστό 76%) και η γεωργία (ποσοστό 4%).

Επιπτώσεις στην υγεία

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι γνωστό για τη **δυσμενή επίδρασή του στην υγεία** μας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη (Hb) του αίματος, την πρωτεΐνη δηλαδή που μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς. Η ένωση αυτή γίνεται πιο γρήγορα από ότι η ένωση της αιμοσφαιρίνης με το οξυγόνο γιατί το CO έχει 70 φορές μεγαλύτερη χημική συγγένεια με την αιμοσφαιρίνη από ότι το οξυγόνο. Έτσι σχηματίζεται η καρβοξυαιμοσφαιρίνη (HbCO), ένα μόριο που δεν μπορεί να δεσμεύσει και να μεταφέρει το οξυγόνο. Το αποτέλεσμα είναι η κακή οξυγόνωση του οργανισμού που οδηγεί στη μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου. Στις περιπτώσεις χρόνιας έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (κάτοικοι ρυπασμένων περιοχών, συστηματικοί καπνιστές) μπορεί να εμφανίσουν άσθμα και βλάβες στο καρδιαγγειακό σύστημα.



Εικόνα 2.1. Ένωση CO με την αιμοσφαιρίνη (Hb) σε βάρος του O₂.
Πηγή: <http://www.cdc.gov/nceh/airpollution/carbonmonoxide/checklist.htm>

Το μονοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα γύρω στις 36 ημέρες από όπου μπορεί να απομακρυνθεί τόσο με χημικούς όσο και με φυσικούς μηχανισμούς. Οι χημικοί μηχανισμοί αφορούν στην οξείδωση του προς διοξείδιο του άνθρακα από άτομα οξυγόνου, όζον ή διοξείδιο του αζώτου:



Επίσης, κοντά στην επιφάνεια της γης δεσμεύεται από βακτήρια του εδάφους. Αυτός ο μηχανισμός όμως δεν ισχύει για όλα τα εδάφη. Επιπλέον στις μεγαλουπόλεις δεν υπάρχει αρκετό ελεύθερο έδαφος με αποτέλεσμα τη μικρή απομάρκυνση του μονοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που ενέχει κινδύνους για την υγεία των κατοίκων.

Γενικά, θεωρείται ότι το μονοξείδιο του άνθρακα δεν έχει άμεση επίδραση στο περιβάλλον. Ωστόσο οι εξισώσεις (1) και (2) δείχνουν ότι η συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα επιδρά έμμεσα στη συνολική αλλαγή του κλίματος, διότι επηρεάζει τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα που είναι το σημαντικότερο αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου.

2.2. ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Από τα επτά οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) είναι οι δύο σπουδαιότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι γιατί εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες. Γι' αυτό, αν και ο όρος οξείδια του αζώτου αναφέρεται σε όλα τα οξείδια του αζώτου (NO_x), στην αέρια ρύπανση γενικά αναφέρεται μόνο στα NO και NO₂.

Το μονοξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και δεν είναι τοξικό. Στον αέρα, όπως θα δούμε στη συνέχεια, οξειδώνεται πολύ γρήγορα σε διοξείδιο του αζώτου. Από την άλλη μεριά το διοξείδιο του αζώτου είναι ένα καφεκόκκινο αέριο με δυνατή και ενοχλητική μυρωδιά.

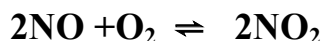
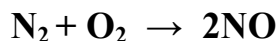
Πηγές εκπομπής

Τα οξείδια του αζώτου παράγονται τόσο από φυσικές πηγές όσο και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στη φύση, είναι αποτέλεσμα των αντιδράσεων του αζώτου με το οξυγόνο του αέρα (αστραπές, κεραυνοί...), της βακτηριακής δραστηριότητας στο έδαφος και των φυσικών πυρκαγιών. Το μεγαλύτερο όμως μέρος της ποσότητας των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου, άνθρακα, φυσικού αερίου), που αφορά στα μέσα μεταφοράς και στους μη πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Πώς όμως σχηματίζονται τα οξείδια του αζώτου

Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται από τις αντιδράσεις του αζώτου με το οξυγόνο του αέρα στις θερμοκρασίες καύσης. Εκτός από το ατμοσφαιρικό άζωτο, στις αντιδράσεις αυτές μπορεί να συμμετέχει και το οργανικό άζωτο που περιέχουν ορισμένα κύσιμα (κυρίως άνθρακα ή βαρύ κλάσμα του πετρελαίου). Αρχικά το άζωτο οξειδώνεται προς μονοξείδιο του αζώτου, ενώ

στη συνέχεια ένα μέρος του μονοξειδίου του αζώτου που παράγεται οξειδώνεται περαιτέρω προς διοξείδιο του αζώτου:

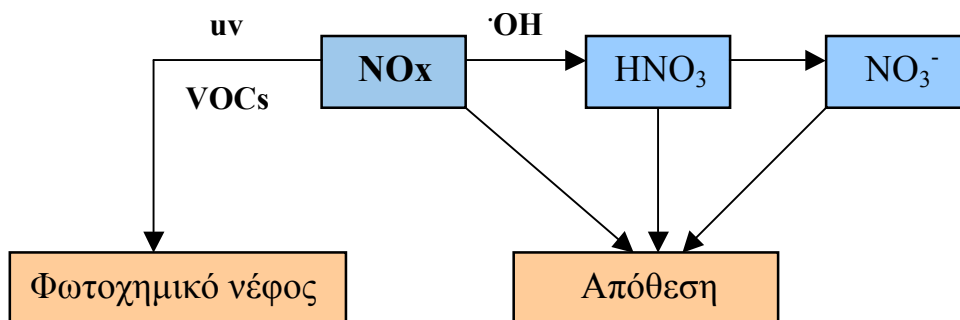


Στην ατμόσφαιρα, τα οξείδια του αζώτου εκπέμπονται κυρίως (ποσοστό >90%) ως μονοξείδιο του αζώτου.

Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο προστίθενται στη γήινη ατμόσφαιρα περί τους 100.000kt³ NO_x που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Το 2002 το αντίστοιχο ποσό για την Ελλάδα ήταν 331kt³. Όπως φαίνεται από τις στατιστικές οι εκπομπές αυτές οφείλονται κατά 59% στις μεταφορές και κατά 26% στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα οξείδια του αζώτου στην ατμόσφαιρα

Στην ατμόσφαιρα το μονοξείδιο του αζώτου μπορεί επίσης να οξειδωθεί προς διοξείδιο του αζώτου. Το σχήμα 2.1 δείχνει με ένα απλοποιημένο τρόπο την τύχη των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα).



Σχήμα 2.1. Τα οξείδια του αζώτου στην ατμόσφαιρα.

Όπως δείχνει το παραπάνω σχήμα αρχικά ένα μέρος των οξειδίων του αζώτου μπορεί να απομακρυνθεί άμεσα από την ατμόσφαιρα με τον μηχανισμό της (ξηρής) απόθεσης (βλ. &3.2). Επιπλέον φαίνεται ότι τα οξείδια του αζώτου παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας διότι:

- Συμμετέχουν στις αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος (βλ.&2.5) και άλλων δευτερογενών ρύπων που είναι συστατικά του φωτοχημικού νέφους.
- Οξειδώνονται προς νιτρικό οξύ (HNO_3), που μπορεί να απομακρυνθεί άμεσα με υγρή ή ξηρή απόθεση (βλ. &3.2) ή με την επίδραση αλκαλικών σωματιδίων να μετατραπεί σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-) (βλ. &2.6).

Όπως θα δούμε παρακάτω όλα αυτά τα φαινόμενα έχουν σοβαρές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην υγεία των ανθρώπων. Επιπρόσθετα, τα οξείδια του αζώτου μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις προκαλώντας διασυνοριακή ρύπανση.

Επιπτώσεις στην υγεία

Σχετικά με την άμεση επίδραση τους στην υγεία, πρέπει να επισημάνουμε ότι το NO δεν θεωρείται επιβλαβές, ενώ το NO_2 , αν και επιβλαβές, δεν φαίνεται να έχει άμεση επίδραση στην υγεία στις συγκεντρώσεις που συνήθως παρατηρείται.

Όσον αφορά στις βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες υγειονομικές επιπτώσεις που αναφέρονται σε ορισμένες επιδημιολογικές έρευνες, τις πιο πολλές φορές αποδίδονται στους άλλους ρύπους με τους οποίους συνδέονται, δηλαδή το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια. Πρέπει ωστόσο να σημειώσουμε ότι σε πιο μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να ερεθίσει τους βλεννογόνους της αναπνευστικής οδού προκαλώντας έτσι μεταβολές της αναπνευστικής λειτουργίας, υπερδραστηριότητα των βρόγχων στους ασθματικούς και αύξηση της ευαισθησίας τους απέναντι στις λοιμώξεις στα παιδιά.

2.3. ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) είναι ένα άχρωμο αέριο με δυνατή και ενοχλητική οσμή και γεύση.

Πηγές εκπομπής

Φυσικές πηγές έκλυσης διοξειδίου του θείου αποτελούν τα ηφαίστεια καθώς επίσης και η οξείδωση του διμεθυλοσουλφιδίου (CH_3SCH_3) από τους θαλάσσιους οργανισμούς στους ωκεανούς. Το μεγαλύτερο όμως μέρος (>90%) της ποσότητας του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο (όπως για παράδειγμα ο άνθρακας και τα βαριά κλάσματα πετρελαίου) και στις διεργασίες παραγωγής μετάλλων από θειούχα ορυκτά.

Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο προστίθενται στη γήινη ατμόσφαιρα γύρω στους 150.000kt^3 που οφείλονται σε ανθρωπογενείς πηγές. Το 2002 το αντίστοιχο ποσό για την Ελλάδα ήταν 485kt^3 .

Σύμφωνα με τις στατιστικές οι βασικές ανθρωπογενείς πηγές SO_2 στη χώρα μας είναι ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό 76%, η βιομηχανία σε ποσοστό 13,5% και οι μεταφορές σε ποσοστό 6%. Οι υψηλές εκπομπές SO_2 από τον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, οφείλονται στο ότι η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται κυρίως από μονάδες που χρησιμοποιούν λιγνίτη, ένα καύσιμο που περιέχει θείο σε ποσοστό από 1,3 έως 1,7%.

Το διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα:

Το διοξείδιο του θείου απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα με δύο βασικούς μηχανισμούς:

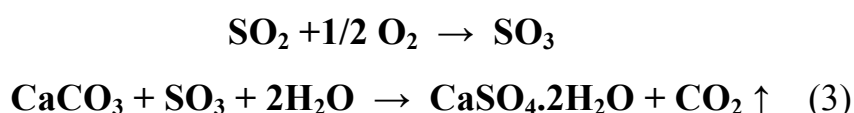
- τη ξηρή απόθεση και
- την οξείδωσή του προς θειικό οξύ (H_2SO_4) που μπορεί να απομακρυνθεί άμεσα μέσω υγρής απόθεσης (βλ. &3.2) ή να αποτεθεί ως θειικά ιόντα (SO_4^-) (βλ.&2.6)

Επιπλέον μπορεί να μεταφερθεί από τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις συμβάλλοντας στη διασυνοριακή ρύπανση.

Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία

Το διοξείδιο του θείου μπορεί να βλάψει τις σοδειές, τα δέντρα, τα υφάσματα, τα κτίρια, τα ζώα και τους ανθρώπους είτε μετά από μακροχρόνια έκθεσή τους σε χαμηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, είτε μετά από βραχυχρόνια έκθεσή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις αυτού. Κάνει τα φύλλα των φυτών να κιτρινίζουν και μειώνει το ρυθμό ανάπτυξής τους. Το διοξείδιο του θείου διαβρώνει τα μέταλλα και προκαλεί καταστροφή των κατασκευαστικών υλικών και των υφασμάτων.

Σημαντικό επίσης για τα μνημεία είναι και το φαινόμενο της γυψοποίησης του μαρμάρου. Σ' αυτό το διοξείδιο του θείου προσροφάται από το μάρμαρο, οξειδώνεται με την παρουσία υγρασίας σε τριοξείδιο του θείου, που αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και το μετατρέπει σε ένυδρο θεικό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), δηλαδή σε γύψο:



Όσον αφορά την υγεία, το διοξείδιο του θείου όταν εισπνέεται ερεθίζει τους βλεννογόνους της αναπνευστικής οδού και μπορεί να δημιουργήσει αναπνευστικά προβλήματα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, σαν αυτές που παρατηρούνται μερικές φορές στο βιομηχανικό περιβάλλον, μπορεί να προκαλέσει βήχα, αναπνευστική δυσχέρεια, ελάττωση της αναπνευστικής ικανότητας στα παιδιά και κρίσεις άσθματος σε άτομα με χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις.

Το διοξείδιο του θείου και η καπνομίχλη

Το διοξείδιο του θείου μαζί με τον καπνό είναι τα βασικά συστατικά της **καπνομίχλης** ή **αιθαλομίχλης** (smog) που πρωτοεμφανίστηκε στα αστικά βιομηχανικά κέντρα τον 19^ο αιώνα εξ αιτίας της μεγάλης χρήσης άνθρακα στα σπίτια και τις βιομηχανίες. Το φαινόμενο αυτό που σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής σχετικής υγρασίας παρουσιάζει έξαρση, δημιούργησε στο παρελθόν αρκετά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το πιο γνωστό και ίσως το πιο σημαντικό από αυτά συνέβη το Δεκέμβριο του 1952 στο Λονδίνο με αποτέλεσμα το θάνατο περίπου 4000 ατόμων, κυρίως ηλικιωμένων με αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα.



Εικόνα 2.2. Φωτογραφία από το επεισόδιο καπνομίχλης του Λονδίνου (1952).

Πηγή: www.portfolio.mvm.ed.ac.uk/studentswebs/session4/27/greatsmogs52.htm

Το επεισόδιο του Λονδίνου οδήγησε στη συνειδητοποίηση της ανάγκης αντιμετώπισης του φαινομένου της καπνομίχλης και είχε σαν αποτέλεσμα το δραστικό περιορισμό της χρήσης άνθρακα στο αστικό περιβάλλον ώστε να αποσοβηθεί κίνδυνος παρομοίων επεισοδίων.

2.4. ΟΙ ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (VOCs) αποτελούν μια σημαντική κατηγορία ρύπων που περιλαμβάνει αρκετές εκατοντάδες ενώσεων. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι στην αέρια ρύπανση «πτητική» θεωρείται κάθε οργανική ένωση που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Έτσι η κατηγορία των πτητικών οργανικών ενώσεων περιλαμβάνει:

- πτητικές οργανικές ενώσεις, δηλαδή ενώσεις με τάση ατμών μεγαλύτερη από 10^{-2} mmHg στους 25°C , που στην ατμόσφαιρα βρίσκονται στην αέρια φάση και
- ημιπτητικές οργανικές ενώσεις, δηλαδή ενώσεις με τάση ατμών 10^{-8} - 10^{-2} mmHg στους 25°C , που μπορεί να βρεθούν προσροφημένες στην επιφάνεια αιωρούμενων σωματιδίων.

Χαρακτηριστικές οργανικές ενώσεις ή κατηγορίες οργανικών ενώσεων που ανιχνεύονται στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών δίνονται στον πίνακα 2.1.

Στη βιβλιογραφία και τις στατιστικές το μεθάνιο (CH_4) συνήθως διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως Μη Μεθανικές Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (NMVOCs). Ο λόγος είναι ότι το μεθάνιο που είναι ένα από τα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, έχει αρκετά διαφορετική συμπεριφορά από τις υπόλοιπες πτητικές οργανικές ενώσεις λόγω του μεγάλου χρόνου παραμονής του στην ατμόσφαιρα που είναι 12 έτη.

Τηρώντας αυτόν το διαχωρισμό, εδώ θα εξετασθούν βασικά οι μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις, ενώ το μεθάνιο θα εξετασθεί στο 3^ο κεφάλαιο όπου θα γίνει αναφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (βλ.&3.4).

Πίνακας 2.1. Οργανικές ενώσεις στην ατμόσφαιρα.

πτητικές	ημιπτητικές
Μη αρωματικοί υδρογονάνθρακες αλκάνια (C₁-C₁₀), αλκένια (C₂-C₅), ακετυλένιο, κυκλοεξάνιο, κ.ά. <u>βιογενή διένια</u>: ισοπρένιο, μονοτερπένια, σεσκιτερπένια, κ.ά Μονοκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες: βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο, στυρόλιο, κ.α Μόνο και Πολυαλογονοπαράγωγα υδρογονανθράκων ¹: Αλκυλαλογονίδια, CFCs, halons, HCFCs, HFCs, κ.α Οξυγονούχες ενώσεις: αιθανόλη, ισοπροπανόλη, βουτανόλη, ισοβουτανόλη, φορμαλδεΰδη, ακεταλδεΰδη, προπανάλη, ακετόνη, βουτανόνη, κυκλοεξανόνη, οξικός αιθυλεστέρας, κ.α	Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) Διοξίνες, Φουράνια

¹ Οι συντμήσεις επεξηγούνται στο κείμενο.

Πηγή: “Volatile Organic Compounds in the Atmosphere”, The Royal Society of Chemistry.

Πηγές εκπομπής

Μεγάλες ποσότητες (μη μεθανικών) πτητικών οργανικών ενώσεων εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα τόσο από βιογενείς όσο και από ανθρωπογενείς πηγές.

Μεγάλες ποσότητες οργανικών ενώσεων (όπως το ισοπρένιο, τερπένια, μεθανόλη, cis-3-εξεν-1-όλη) εκλύονται από τα δάση, τα λιβάδια και τα έλη. Υπολογίζεται ότι οι ποσότητες αυτές είναι κατά πολύ μεγαλύτερες, έως και έξι φορές, από εκείνες που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, υπάρχει όμως μεγάλος βαθμός αβεβαιότητας στους υπολογισμούς.

Οι εκπομπές που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες υπολογίζονται γύρω στους 150.000 kt³/έτος και προέρχονται από τις καύσεις (κυρίως στα μέσα μεταφοράς και τις μονάδες παραγωγής ενέργειας), την αποθήκευση και τη μεταφορά των καυσίμων, την παραγωγή και τη χρήση διαλυτών, καθώς και τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων. Το 2002 οι εκπομπές NMVOC από ανθρώπινες δραστηριότητες στην Ελλάδα ήταν γύρω στους 268kt³ και προέρχονταν κυρίως από τις μεταφορές (σε ποσοστό 68,5%) και τη χρήση οργανικών διαλυτών (σε ποσοστό 25%).

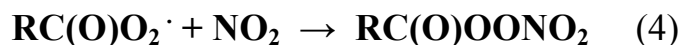
Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στη δημιουργία των περισσότερων φαινομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που θα εξετασθούν στο 3^ο Κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, οι πτητικές οργανικές ενώσεις συμμετέχουν:

α) Στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους:

Στην τροπόσφαιρα οι οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στην αέρια φάση αποικοδομούνται φωτοχημικά αντιδρώντας με ελεύθερες ρίζες (κυρίως ρίζες υδροξυλίου: $\cdot\text{OH}$) σε πιο οξειδωμένες και γενικά πιο πολικές ενώσεις που συνήθως έχουν λιγότερα άτομα άνθρακα. Οι αντιδράσεις αυτές συνεχίζονται μέχρι τα προϊόντα να απομακρυνθούν από την ατμόσφαιρα με υγρή ή και ξηρή απόθεση ή στην αντίθετη περίπτωση μέχρι η αρχική ένωση να διασπαστεί πλήρως σε CO_2 και H_2O . Κατά την διάρκεια των αντιδράσεων αποικοδόμησης δημιουργούνται διάφορες ελεύθερες ρίζες που:

- οξειδώνουν το NO προς NO_2 ευνοώντας έτσι το σχηματισμό του όζοντος στην τροπόσφαιρα (βλ.&2.5),
- μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό διαφόρων δευτερογενών ρύπων, όπως για παράδειγμα οι ακυλοϋπεροξειδικές ρίζες $[\text{RC}(\text{O})\text{O}_2 \cdot]$ που αντιδρούν με το διοξείδιο του αζώτου σχηματίζοντας **νιτρικά ακυλοϋπεροξείδια** (PAN):



Το όζον, τα νιτρικά ακυλοϋπεροξειδία, καθώς και οι άλλοι δευτερογενείς ρύποι που σχηματίζονται είναι τα βασικά συστατικά του φωτοχημικού νέφους (βλ.&3.1).

Είναι προφανές ότι κάθε πτητική οργανική ένωση ανάλογα με τη συγκέντρωσή της στην ατμόσφαιρα, το μηχανισμό αποικοδόμησής της, τη δραστηριότητα των ενδιάμεσων προϊόντων και τον χρόνο παραμονής της, συνεισφέρει διαφορετικά στο σχηματισμό του όζοντος και των άλλων δευτερογενών ρύπων και επομένως στο φαινόμενο του φωτοχημικού νέφους.

β) Στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος:

Πολλές οργανικές ενώσεις είναι αρκετά σταθερές απέναντι στους μηχανισμούς απομάκρυνσης της τροπόσφαιρας και μπορούν να φτάσουν στη στρατόσφαιρα. Αν οι ενώσεις αυτές περιέχουν χλώριο ή βρώμιο, μπορεί να υποστούν φωτόλυση δίνοντας ελεύθερα άτομα χλωρίου ή βρωμίου που συμμετέχουν στις αντιδράσεις καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος (βλ. &3.3).

Οι οργανικές αυτές ενώσεις αποτέλεσαν το στόχο του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, παράγονται μόνο βιομηχανικά και είναι:

- το μεθυλοβρωμίδιο (CH_3Br), το 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο (CCl_3CH_3 , μεθυλοχλωροφόρμιο) και ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4),
- Οι βρωμιομένοι υδρογονάνθρακες (halons, αλογονοπαράγωγα κυρίως μεθανίου και αιθανίου που περιέχουν και βρώμιο),
- οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και οι υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs).

Οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως διαλύτες, ψυκτικές ουσίες, διογκωτικοί παράγοντες αφρών, προωθητικά σε αερολύματα (αεροζόλ), παράγοντες πυρόσβεσης (halons) και παρασιτοκτόνα (μεθυλοβρωμίδιο).

γ) Στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ορισμένα από τα παραπάνω αλογονοπαράγωγα (κυρίως τα CFCs και HCFCs) απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπουν ο ήλιος ή η γη, δρουν δηλαδή σαν αέρια του θερμοκηπίου (βλ &3.4) συμβάλλοντας και με αυτόν τον τρόπο στη συνολική αλλαγή του κλίματος.

Επιπτώσεις στην υγεία

Αρκετές μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις επιδρούν άμεσα στην υγεία, η επίδραση όμως είναι συνήθως παροδική και εξαφανίζεται μόλις βρεθεί και απομακρυνθεί η πηγή εκπομπής. Τα συμπτώματα είναι συνήθως ερεθισμός των ματιών, της μύτης, του λαιμού και του δέρματος. Μπορεί επίσης να εμφανιστούν, ανάλογα με την οργανική ένωση και το χρόνο έκθεσης: πονοκέφαλος, ναυτία, ζαλάδες, κόπωση και λαχάνιασμα.

Υπάρχουν ωστόσο και ορισμένες οργανικές ουσίες που εμφανίζουν πιο συστηματική τοξικότητα. Οι ουσίες αυτές μπορεί να προκαλέσουν ερεθισμό (φλεγμονές) των βλεννογόνων και να έχουν σημαντική επίδραση στη λειτουργία οργάνων όπως τα νεφρά και το συκώτι ή ακόμη και στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Το βενζόλιο θεωρείται ότι προκαλεί απλαστική αναιμία και πολυερυθραιμία, ενώ το διχλωρομεθάνιο ότι παράγει καρβοξυαιμοσφαιρίνη. Το διχλωρομεθάνιο, το τολουόλιο, το στυρόλιο, το τριχλωροαιθέριο και το τετραχλωροαιθέριο θεωρούνται νευροτοξικά. Το στυρόλιο προκαλεί επίσης ερεθισμό των βλεννογόνων όπως και το ναφθαλίνιο.

Τέλος υπάρχουν οργανικές ουσίες που θεωρούνται γενοτοξικές¹ ή και καρκινογόνες, και θεωρούνται ιδιαίτερα επικίνδυνες ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Ως δυνητικά καρκινογόνοι παράγοντες θεωρούνται το βενζόλιο, η φορμαλδεΰδη, το 1,3-βουταδιένιο, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), οι διοξίνες και τα φουράνια, ενώ τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) θεωρούνται καρκινογόνοι αλλά και δυνητικά γενοτοξικοί παράγοντες.

Έρευνες που έγιναν στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. σχετικά με την ρύπανση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους, έδειξαν σε αρκετές περιπτώσεις αυξημένες συγκεντρώσεις επικινδύνων για την υγεία πτητικών οργανικών ενώσεων. Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στους εσωτερικούς χώρους ήταν μέχρι και τριπλάσιες από αυτές στον ελεύθερο αέρα και αφορούσαν ουσίες όπως η φορμαλδεΐδη, το βενζόλιο, το τριχλωροαιθέριο το τετραχλωροαιθέριο, κ.α. Στον πίνακα 2.2 δίνονται οι πιθανές πηγές ορισμένων πτητικών οργανικών ενώσεων σε εσωτερικούς χώρους. Ο πίνακας αυτός δείχνει το πόσο σημαντικά μπορεί να αποδειχθούν η σωστή επιλογή των υλικών και ο καλός αερισμός των χώρων.

Πίνακας 2.2. Υλικά που μπορεί να δράσουν ως πηγές εκπομπής VOCs σε εσωτερικούς χώρους.

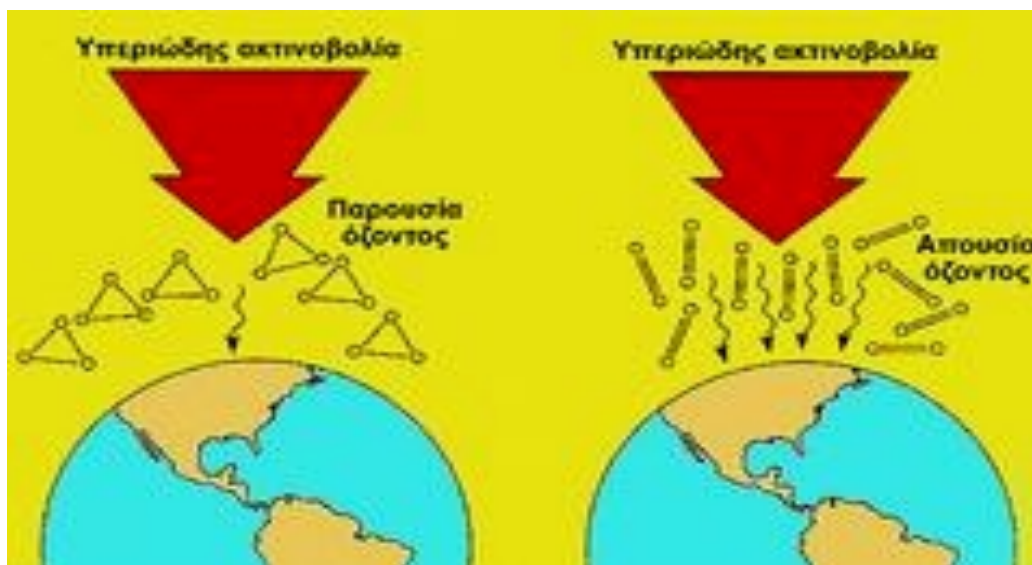
Οργανική ένωση	Υλικά εκπομπής
αρωματικοί (τολουόλιο, ξυλόλιο, αιθυλοβενζόλιο, τριμεθυλοβενζόλια) και αλιφατικοί υδρογονάνθρακες. Τερπένια	Χρώματα, κόλλες, προϊόντα καύσεως
Τετραχλωροαιθέριο	Αποσμητικά, στιλβωτικά, τρόφιμα, ποτά, τσιγάρα.
Βενζόλιο	Ρούχα μετά από στεγνό καθάρισμα.
p-δύχλωροβενζόλιο	Κάπνισμα.
1,1,1-τριχλωροβενζόλιο	Αποσμητικά, αντισκορικά.
Στυρόλιο	Ρούχα μετά από στεγνό καθάρισμα, αεροζόλ, προστατευτικά ινών.
PAHs	Μονώσεις, υφάσματα, απολυμαντικά, πλαστικά, χρώματα.
Αλκοόλες	Προϊόντα καύσεων (κάπνισμα, καύση ξύλων, καυστήρες κηροζίνης).
Κετόνες	Αεροζόλ, καθαριστικά τζαμιών, μπογιές, κόλλες, καλλυντικά
Αιθέρες	Κόλλες, λάκες, βερνίκια
Εστέρες	Ρητίνες, χρώματα, βερνίκια, λάκες, χρωστικές, σαπούνια, καλλυντικά.
	Ρητίνες, πλαστικά, πλαστικοποιητές, αρώματα.

Πηγή: “Volatile Organic Compounds in the Atmosphere” The Royal Society of Chemistry.

2.5. ΤΟ ΟΖΟΝ

Το όζον (O_3) είναι ένα πολύ δηλητηριώδες αέριο με απαλό γαλάζιο χρώμα και έντονη και χαρακτηριστική μυρωδιά που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του νερού, την αποστείρωση του αέρα και τον αποχρωματισμό ορισμένων τροφίμων.

Το όζον παράγεται φυσικά στα ψηλότερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας, δηλαδή στη στρατόσφαιρα, με την επίδραση του υπεριώδους τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας σε μόρια οξυγόνου (βλ. &3.3). Η στιβάδα (ή στρώμα) του όζοντος της ανώτερης ατμόσφαιρας προστατεύει τη γήινη ζωή από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου που μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του δέρματος.



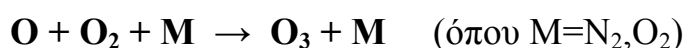
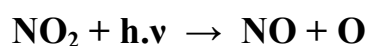
Εικόνα 2.3. Αριστερά: Το όζον απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία, αποτελώντας έτσι μια αποτελεσματική ασπίδα για τη γη. Δεξιά: Όταν απουσιάζει το όζον περισσότερη υψηλής ενέργειας υπεριώδης ακτινοβολία, διαπερνά την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου είναι βλαβερή για τους ζώντες οργανισμούς (www.tneth.edu.gr/el/kiosks/environment/atmosphere/envi_hela.html)

Αντίθετα, στην τροπόσφαιρα, το όζον βρίσκεται φυσιολογικά σε πάρα πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Ασυνηθιστά μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος στον αέρα των μεγαλουπόλεων άρχισαν να παρατηρούνται από τα τέλη της

δεκαετίας του 1940. Σύντομα το όζον αναγνωρίστηκε σαν ατμοσφαιρικός ρύπος και το πιο σημαντικό συστατικό του φωτοχημικού νέφους. Πώς όμως σχηματίζεται το όζον στον αέρα των αστικών περιοχών;

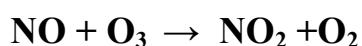
Ο σχηματισμός του όζοντος στην τροπόσφαιρα

Αρχικά το διοξείδιο του αζώτου με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας ($\lambda=294-430\text{nm}$) διασπάται σε μονοξείδιο του αζώτου και ατομικό οξυγόνο. Στη συνέχεια, το ατομικό οξυγόνο αντιδρά με μοριακό οξυγόνο σχηματίζοντας όζον:

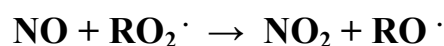
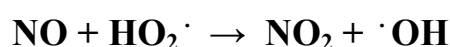


Οι παραπάνω αντιδράσεις όμως δεν εξηγούν από μόνες τους το σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος και αυτό γιατί:

- i. στην ατμόσφαιρα, η αντίδραση σχηματισμού του διοξειδίου του αζώτου από το μονοξείδιο του αζώτου είναι αργή και
- ii. το όζον μπορεί να αντιδράσει με το μονοξείδιο του αζώτου και έτσι να κλείσει ο κύκλος:



Το κλειδί για την καθαρή παραγωγή όζοντος είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις και κυρίως οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες που εκπέμπονται με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Όπως ήδη αναφέρθηκε (βλ. &2.4) κατά την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων στην τροπόσφαιρα δημιουργούνται διάφορες ελεύθερες ρίζες, όπως οι υπεροξειδικές ($\text{RO}_2\cdot$) και υδροϋπεροξειδικές ρίζες ($\text{HO}_2\cdot$). Οι ρίζες αυτές αντιδρούν ταχύτατα με το μονοξείδιο του αζώτου δίνοντας διοξείδιο του αζώτου:



Έτσι «χάρη» στις πτητικές οργανικές ενώσεις:

- ευνοείται σαφώς η φωτόλυση του NO_2 και κατά συνέπεια η δημιουργία όζοντος,
- σχηματίζονται διάφορες ελεύθερες ρίζες, με πιο σημαντικές τις ρίζες υδροξυλίου (OH) που συμμετέχουν σε πλήθος αντιδράσεων με αποτέλεσμα το σχηματισμό και άλλων δευτερογενών ρύπων π.χ. αλδεϋδών, οργανικών οξέων, οργανικών, νιτρικών και θεϊκών αερολυμάτων (βλ. &2.6), κ.ά.

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον

Ο σχηματισμός του όζοντος και των άλλων δευτερογενών ρύπων έχει σαν αποτέλεσμα τη **φωτοχημική ρύπανση** της κατώτερης ατμόσφαιρας. Το φωτοχημικό νέφος δεν είναι παρά το ορατό αποτέλεσμα της φωτοχημικής ρύπανσης που εκδηλώνεται κυρίως στις αστικές περιοχές σε χαμηλό ύψος από την επιφάνεια της γης. Η ίδια όμως η φωτοχημική ρύπανση αποτελεί ένα διασυνοριακό φαινόμενο ρύπανσης.

Έχει αποδειχθεί ότι στην τροπόσφαιρα, το όζον δρα σαν αέριο του θερμοκηπίου. Η συμβολή του πάντως στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου δεν θεωρείται τόσο σημαντική όσο των άλλων αερίων που αναφέρονται στην παράγραφο 3.4. Ωστόσο δεν μπορούμε και να την αγνοήσουμε, αν σκεφτούμε ότι μετά τη βιομηχανική επανάσταση η συγκέντρωση του όζοντος στην τροπόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 30% και συνεχίζει να αυξάνεται.

Τα υπόλοιπα θέματα που αφορούν στις επιπτώσεις του όζοντος στην υγεία και το περιβάλλον θα εξετασθούν στην παράγραφο 3.1 που αναφέρεται στο φωτοχημικό νέφος.

2.6. ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Με τον όρο «αιωρούμενα σωματίδια» εννοούμε τα σωματίδια και σταγονίδια (εκτός από αυτά του καθαρού νερού) με διάμετρο $2 \cdot 10^{-3}$ - $200 \mu\text{m}$ που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων ονομάζονται και αερολύματα (αεροζόλ).

Πηγές εκπομπής

Ένα μεγάλο ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχεται από φυσικές πηγές, ενώ ένα άλλο οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι πιο σημαντικές φυσικές πηγές είναι οι ωκεανοί (θαλάσσια σταγονίδια), οι ανεμοθύελλες, το έδαφος, τα φυτά (γύρη), τα ηφαίστεια και οι φυσικές πυρκαγιές.

Οι σπουδαιότερες ανθρώπινες δραστηριότητες που συμβάλλουν στην εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι διαδικασίες καύσεως (μεταφορές, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση, ανθρωπογενείς πυρκαγιές), οι διάφορες βιομηχανικές διεργασίες (διεργασίες τριβής, κατατμήσεως και διαβρώσεως υλικών, εξάτμιση, κ.ά.), η εξόρυξη ορυκτών, καθώς και οι διαδικασίες φορτώσεως και εκφορτώσεως μη συσκευασμένων υλικών. Σε παγκόσμια κλίμακα υπερτερούν οι εκπομπές από φυσικές πηγές, σε τοπική όμως κλίμακα οι ανθρώπινες δραστηριότητες παίζουν πρωταρχικό ρόλο.

Κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων

Είναι προφανές ότι υπάρχει μια τεράστια ποικιλία αιωρούμενων σωματιδίων με σημαντικές διαφορές στη χημική σύσταση, τη δομή, το σχήμα και το μέγεθος. Στη βιβλιογραφία ωστόσο τα αιωρούμενα σωματίδια αναφέρονται κυρίως με βάση το μέγεθος. Το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει άμεσα τόσο την φυσική τους συμπεριφορά, καθορίζοντας σε

μεγάλο βαθμό τους μηχανισμούς απομάκρυνσης και το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, όσο και την επίδρασή τους στην υγεία και το περιβάλλον.

Συνήθως, τα αιωρούμενα σωματίδια διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση την ισοδύναμη αεροδυναμική τους διάμετρο:

- η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα σωματίδια που έχουν διάμετρο μικρότερη από $1\mu\text{m}$ (πυρήνες Aitken).
- η δεύτερη ($\text{PM}_{2,5}$) όσα έχουν διάμετρο από $0,1$ έως $2,5\mu\text{m}$ και
- η τρίτη αυτά που η διάμετρος τους ξεπερνάει τα $2,5\mu\text{m}$.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που ανήκουν στις δύο πρώτες κατηγορίες ονομάζονται επίσης και μικρά σωματίδια (fine particulates), ενώ αυτά της τρίτης κατηγορίας και μεγάλα σωματίδια.

Τα πολύ μικρά αιωρούμενα σωματίδια (διαμέτρου $<0,1\mu\text{m}$) μπορεί να είναι πρωτογενή ή δευτερογενή. Τα πρωτογενή σωματίδια συνήθως σχηματίζονται από προϊόντα καύσεων κοντά στην πηγή τους και εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα, ενώ τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από προϊόντα αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων (NO_x , SO_2 , VOCs). Οι μηχανισμοί που οδηγούν στο σχηματισμό των σωματιδίων είναι η **συμπύκνωση** θερμών ατμών, η **διάχυση** ατμών σε προϋπάρχοντα σωματίδια και η **πυρήνωση** αερίων στην ατμόσφαιρα.

Τα πολύ μικρά αιωρούμενα σωματίδια, αν και πολυπληθέστερα σε αριθμό, δεν παραμένουν για πολύ στην ατμόσφαιρα γιατί έχουν την τάση:

- να ενώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι μεγαλύτερα σωματίδια,
- ή να ενώνονται με μεγαλύτερα σωματίδια,
- είτε τέλος να δρουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο από $0,1$ έως $2,5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) σχηματίζονται με συσσωμάτωση των πολύ μικρών αιωρούμενων σωματιδίων ή συμπύκνωση ατμών σε προϋπάρχοντα σωματίδια και μπορεί να έχουν τόσο πρωτογενή όσο και δευτερογενή προέλευση. Τα σωματίδια αυτά δεν

απομακρύνονται εύκολα από την ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια είναι σημαντικοί φορείς διασυννοριακής ρύπανσης.

Τα μεγάλα σωματίδια ($d > 2,5 \mu\text{m}$) σχηματίζονται κατ' εξοχήν με μηχανικές διεργασίες στη φύση (δράση των κυμάτων στους βράχους, φυσικές διεργασίες διάβρωσης του εδάφους, εκρήξεις ηφαιστείων, κ.ά.) και τη βιομηχανία. Εδώ όμως ανήκει και η **ιπτάμενη τέφρα** η οποία αποτελείται από σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που συμπαρασύρονται με τα καυσαέρια. Τα σωματίδια αυτά λόγω του μεγέθους τους δεν παραμένουν για πολύ στην ατμόσφαιρα διότι καθιζάνουν λόγω του βάρους τους.

Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει σημαντικά. Γενικά θεωρείται ότι αντανακλά την πηγή από την οποία προέρχονται, αν και στην πραγματικότητα αλλοιώνεται από αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων μεταξύ τους ή με αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια προσροφούν εύκολα μόρια από την αέρια φάση, ιδιαίτερα συστατικών με χαμηλή πτητικότητα, όπως οι διάφορες ημιπτητικές οργανικές ουσίες (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οργανοχλωριομένες ενώσεις, κ.ά.) και τα μέταλλα που εξατμίζονται από ηφαιστειακές ή βιολογικές διεργασίες.

Γενικά, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από:

- μία ανόργανη φάση (στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας, κ.ά.) και
- μία οργανική φάση (οργανικός άνθρακας).

Τα μικρά σωματίδια μπορεί να περιέχουν θειικά, νιτρικά, αμμώνιο, μόλυβδο, στοιχειακό άνθρακα και οργανικές ενώσεις. Τα σωματίδια αυτά έχουν κυρίως ανθρωπογενή προέλευση, αν και ένα σημαντικό ποσοστό τους οφείλεται στις φυσικές πυρκαγιές.

Από την άλλη μεριά, τα μεγάλα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από υλικά που συναντάμε στο φλοιό της γης (όπως για παράδειγμα: πυριτικά άλατα, οξείδια του αργιλίου, του ασβεστίου, του σιδήρου, κ.ά.) και τους ωκεανούς (νάτριο και χλώριο). Ορισμένα συστατικά πάλι, όπως για παράδειγμα τα νιτρικά ή τα ίχνη μετάλλων, βρίσκονται τόσο στα μικρά όσο και στα μεγάλα σωματίδια.

Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι η βασική αιτία μείωσης της ορατότητας σε πολλές περιοχές. Επίσης επικάθονται πάνω στα φυτά, εμποδίζοντας έτσι την κυκλοφορία του διοξειδίου του άνθρακα που είναι απαραίτητο για την φωτοσύνθεση.

Δρούν συνεργιστικά με το διοξείδιο του θείου και η εισπνοή τους έχει επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Το πόσο σημαντικές μπορεί να είναι αυτές οι επιπτώσεις εξαρτάται από το μέγεθος, τη χημική σύσταση και τη συνολικά εισπνεόμενη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στο αναπνευστικό σύστημα μπορούν να εισέλθουν σωματίδια με διάμετρο $\leq 10\mu\text{m}$ (PM₁₀). Τα μεγαλύτερα από αυτά κατακρατούνται στη ρινική κοιλότητα, ενώ όσα έχουν διάμετρο $\leq 7\mu\text{m}$ φτάνουν στο θώρακα. Τέλος όσα σωματίδια έχουν διάμετρο $\leq 2,5\mu\text{m}$ μπορούν να προχωρήσουν ακόμη περισσότερο και να προσβάλλουν τους βρόγχους και τους πνεύμονες.

Οι πιο ευαίσθητες, στα αιωρούμενα σωματίδια, κατηγορίες πληθυσμού είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και όσοι πάσχουν από αναπνευστικά προβλήματα. Μακροχρόνια εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων προκαλεί άσθμα και διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολλές από τις επαγγελματικές ασθένειες (όπως η πυριτίαση, η αμιάντωση) προκαλούνται από την εισπνοή κόνεων.

3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



3.1. ΤΟ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ

Αναφέρεται και σαν νέφος τύπου Los Angeles γιατί εκεί μελετήθηκε για πρώτη φορά. Τα βασικά συστατικά του είναι δευτερογενείς ρύποι που σχηματίζονται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα οξείδια του αζώτου και τις οργανικές πτητικές ενώσεις, όπως το όζον, το νιτρικό ακετυλοϋπεροξείδιο (PAN), αλδεΐδες, οργανικά οξέα, κ.ά. Τα συστατικά αυτά είναι γνωστά και σαν *φωτοχημικά οξειδωτικά* μια και τα περισσότερα έχουν μεγαλύτερη οξειδωτική ικανότητα από το οξυγόνο.

Γενικά, οι φωτοχημικές αντιδράσεις αρχίζουν με την ανατολή του ήλιου. Έτσι όσο περνάει η ώρα, μειώνονται οι συγκεντρώσεις των πρωτογενών ρύπων και αυξάνονται αυτές των δευτερογενών. Ο χρόνος που παρατηρούνται οι μέγιστες συγκεντρώσεις δευτερογενών ρύπων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, κ.ά.), από τις σχετικές συγκεντρώσεις VOCs / NO_x και από το είδος των πτητικών οργανικών ενώσεων (κυρίως των υδρογονανθράκων). Συνήθως όμως οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δευτερογενών ρύπων παρατηρούνται το απόγευμα.

Ο σχηματισμός πάντως των δευτερογενών ρύπων (φωτοχημική ρύπανση) δεν συνεπάγεται και το σχηματισμό φωτοχημικού νέφους. Για να σχηματιστεί το φωτοχημικό νέφος θα πρέπει να επικρατεί *άπνοια* και ταυτόχρονα *θερμοκρασιακή αναστροφή* ώστε οι ρύποι να εγκλωβιστούν και να μην μπορέσουν να διαφύγουν προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Θερμοκρασιακή αναστροφή έχουμε όταν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αντί να ελαττώνεται με το ύψος, αυξάνεται. Αυτό μπορεί να συμβεί για παράδειγμα λόγω αντιθέτου κινήσεως ψυχρών και θερμών αερίων μαζών ή τις νύκτες με καθαρό ουρανό και άπνοια που το έδαφος ακτινοβολεί ισχυρά θερμότητα και ψύχεται, οπότε ψύχεται και ο αέρας πάνω από αυτό, κ.λ.π. Συνήθως διαρκεί λίγες μέρες και απομακρύνεται με την αλλαγή του καιρού.

Εικόνα 3.1. Φωτοχημικό νέφος στο Hong Kong.



Πηγή: <http://resources.emb.gov.hk>

Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία

Το φωτοχημικό νέφος έχει αρνητικές συνέπειες στα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (ορατότητα), τα υλικά, τη βλάστηση και την υγεία των ανθρώπων. Οι αρνητικές αυτές συνέπειες μπορεί να είναι:

■ Μείωση της ορατότητας.

Οφείλεται στα οργανικά αερολύματα που σχηματίζονται.

■ Φθορά υλικών όπως βαφών, χρωμάτων, ινών, νάυλον, κ.ά

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η φθορά των ελαστικών που χρησιμοποιήθηκε για τη διάγνωση του σχηματισμού όζοντος στις πρώτες μελέτες σχετικά με το φωτοχημικό νέφος.

■ Βλάβες στα φυτά

Οφείλεται στην *φυτοτοξικότητα* των συστατικών του, κυρίως του όζοντος και του νιτρικού ακετυλοϋπεροξειδίου. Το όζον μειώνει την ταχύτητα της φωτοσύνθεσης, παρεμποδίζει την ανάπτυξη των φυτών και δημιουργεί κίτρινες κηλίδες στην επιφάνεια των φύλλων. Το PAN έχει μεγαλύτερη φυτοτοξικότητα και μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες βλάβες. Στις συγκεντρώσεις όμως που συνήθως παρατηρείται, προσβάλλει τα νεαρά φύλλα και τους δίνει μια γυαλιστερή, μπρούτζινη επιφάνεια.

■ Προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων.

Πολλά από τα συστατικά του φωτοχημικού νέφους έχουν αρνητική επίδραση στην υγεία μας. Το όζον για παράδειγμα είναι γνωστό τοξικό, ενώ το PAN και οι αλδεϋδες είναι ισχυρά ερεθιστικά των ματιών και του λαιμού. Τα συστήματα που υφίστανται τις εντονότερες επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους είναι κατά κύριο λόγο το αναπνευστικό και κατά δεύτερο το καρδιαγγειακό. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.1, οι επιπτώσεις είναι ποικίλες και εξαρτώνται από το είδος και τις συγκεντρώσεις των φωτοχημικών οξειδωτικών και από τη διάρκεια έκθεσης.

Πίνακας 3.1. Επίδραση του φωτοχημικού νέφους στην υγεία.

Συνθήκες έκθεσης	Επιπτώσεις στην υγεία
Συγκέντρωση O ₃ : 200μg/m ³	Βήχας. Δυσμενείς επιδράσεις στην λειτουργία των πνευμόνων.
Συγκέντρωση οξειδωτικών: 200-500μg/m ³ για 1h	Ερεθισμός των ματιών. Αύξηση της συχνότητας ασθματικών προσβολών.
Συγκέντρωση οξειδωτικών: 400-1400μg/m ³ για 1h	Stress σε ασθενείς με χρόνιες πνευμονικές παθήσεις.
Συγκέντρωση O ₃ : 700-800 μg/m ³ για 2h	Δύσπνοια σε υγιή άτομα

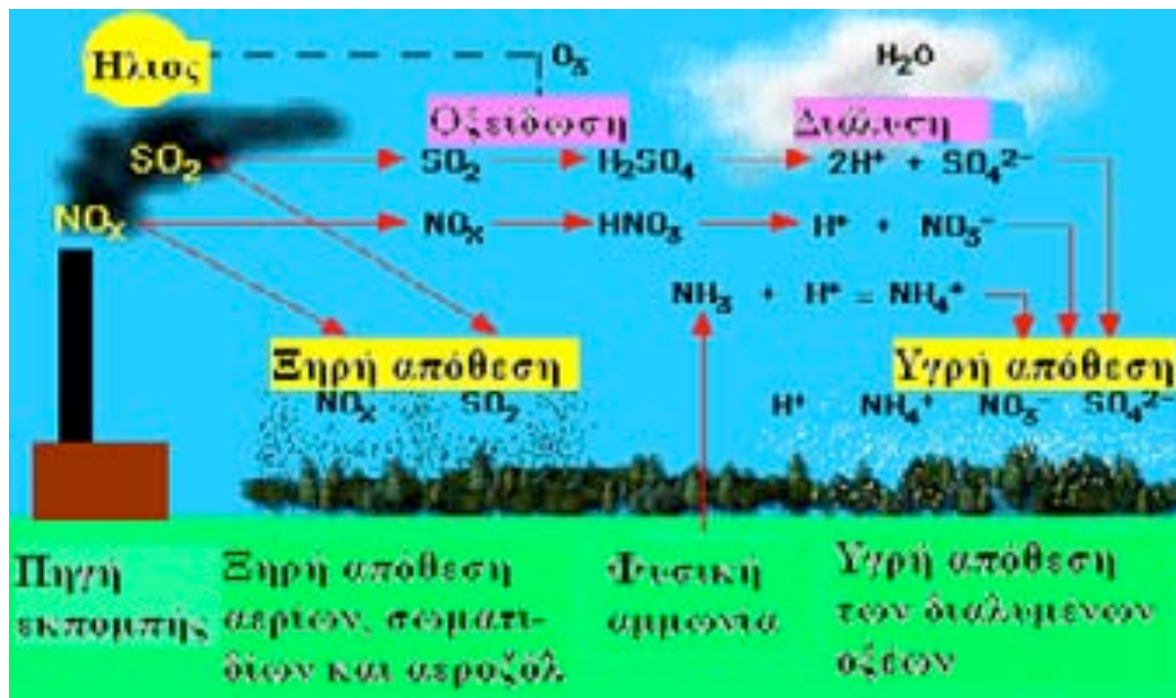
Πηγή: Θ. Κουϊμτζής et al., «Χημεία Περιβάλλοντος»

3.2. Η ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ

Όξινη απόθεση και όξινη βροχή

Φυσιολογικά η βροχή, όπως και τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, είναι όξινη. Το pH της βροχής είναι 5,5. Έτσι όταν λέμε όξινη βροχή εννοούμε τη βροχή που έχει μεγαλύτερη οξύτητα από την φυσιολογική, δηλαδή $\text{pH} < 5,5$, όπως συμβαίνει σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές η τιμή του pH της βροχής μπορεί να κυμαίνεται από 3,5 – 4,5.

Η όξινη βροχή είναι αποτέλεσμα ενός γενικότερου φαινομένου, του φαινομένου της **όξινης απόθεσης**. Η όξινη απόθεση οφείλεται κυρίως στα οξείδια του αζώτου και του θείου, καθώς και στα προϊόντα της οξείδωσής τους στην ατμόσφαιρα και το έδαφος, που είναι αντίστοιχα το νιτρικό και το θειικό οξύ. Στην εικόνα 3.2 δίνεται μια απλοποιημένη αναπαράσταση του φαινομένου.



Εικόνα 3.2. Απλοποιημένη αναπαράσταση του φαινομένου της όξινης απόθεσης.

Πηγή: www.livinglandscapes.bc.ca/thomp-ok/env-changes/atmos/ch3.html

Όπως φαίνεται από την εικόνα 2.3, η όξινη απόθεση είναι αποτέλεσμα διάφορων διεργασιών, όπου τα οξείδια του αζώτου και το διοξείδιο του θείου:

- μπορούν να απομακρυνθούν σαν αέρια απευθείας από την ατμόσφαιρα ή ακόμη προσροφημένα σε αιωρούμενα σωματίδια και να αποτεθούν στο έδαφος, οπότε μιλάμε για ξηρή απόθεση.
- μπορεί να μετατραπούν σε νιτρικό καιθειικό οξύ μέσω οξείδωσης και να αποτεθούν διαλυμένα σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, οπότε μιλάμε για υγρή απόθεση. Υγρή απόθεση έχουμε και από την μετατροπή της αέριας αμμωνίας (NH_3) σε ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) στην ατμόσφαιρα.

Η ξηρή απόθεση παρατηρείται κυρίως σε περιοχές κοντά στις πηγές των οξειδίων. Αντίθετα η υγρή απόθεση παρατηρείται συνήθως πολλά χιλιόμετρα μακριά, σε περιοχές προς τις οποίες κατευθύνονται τα μέτωπα κακοκαιρίας. Για παράδειγμα η Σουηδία και ο Καναδάς είναι χώρες με σχετικά χαμηλές εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου. Παρόλα αυτά έχουν πολλές όξινες βροχοπτώσεις γιατί οι αέριες μάζες που τις προκαλούν προέρχονται αντίστοιχα από την κεντροδυτική Ευρώπη και τις βορειανατολικές Η.Π.Α., όπου ο αέρας είναι πολύ πιο επιβαρημένος.

Η όξινη βροχή είναι όρος που πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 19^ο αιώνα για να περιγράψει τη ρυπασμένη βροχή στο Μάντσεστερ του Ηνωμένου Βασιλείου. Σήμερα έχει επικρατήσει και χρησιμοποιείται σχεδόν αδιάκριτα για να υποδηλώσει κάθε περίπτωση υγρής απόθεσης, ίσως γιατί στην περίπτωση της όξινης βροχής οι επιπτώσεις είναι πιο άμεσες και σημαντικές.

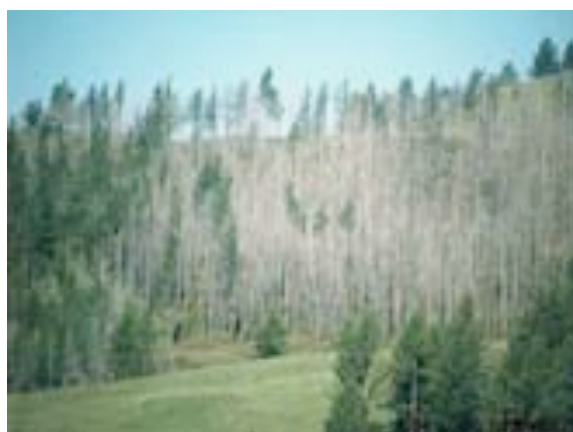
Επιπτώσεις της όξινης βροχής

α) Έδαφος και χερσαία οικοσυστήματα:

Σημαντικό ρόλο παίζει η σύσταση του εδάφους. Μερικά εδάφη είναι αρκετά βασικά και μπορούν να εξουδετερώσουν την απόθεση οξέων για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε κάποια άλλα πάλι, π.χ. εδάφη με χαμηλή

περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, οι δυνατότητες εξουδετέρωσης είναι περιορισμένες και γι' αυτό οι επιπτώσεις είναι πιο σημαντικές.

Στο έδαφος η όξινη βροχή διαλυτοποιεί και απομακρύνει θρεπτικά συστατικά χρήσιμα για τα φυτά. Μπορεί επίσης να αποδεσμεύσει και να παρασύρει δι άφορα τοξικά μέταλλα (όπως το αργίλιο, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, κ.λ.π.) που μπορεί να δηλητηριάσουν τα φυτά ή να ρυπάνουν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά.



Εικόνα 3.3. Επίδραση της όξινης βροχής στα φύλλα των δέντρων και τα δάση.

Πηγή: www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/human-activities/contents.htm

Αφαιρώντας χρήσιμα θρεπτικά συστατικά από το έδαφος, η όξινη βροχή καθυστερεί την ανάπτυξη των φυτών και κυρίως των δέντρων. Ακόμη προσβάλλει τα δέντρα πιο άμεσα καταστρέφοντας πόρους από το κέρινο κάλυμμα των φύλλων και των βελόνων, δημιουργώντας έτσι καφετιές κηλίδες. Εάν σχηματιστούν πολλές τέτοιες κηλίδες, τα δέντρα χάνουν ένα μέρος της ικανότητας του να δημιουργούν θρεπτικά συστατικά μέσω της φωτοσύνθεσης και γίνονται λιγότερο ανθεκτικά σε προσβολές από έντομα, στη λειψυδρία και τις χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα δάση με έλατα και πεύκα που βρίσκονται σε μεγαλύτερα ύψη, όπου τα δέντρα κυριολεκτικά αγγίζουν τα όξινα σύννεφα, διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Οι αγροτικές εκτάσεις στα βουνά διατρέχουν επίσης κίνδυνο γιατί τα

λεπτά εδάφη σε αυτά τα ύψη δεν μπορούν να εξουδετερώσουν μεγάλη ποσότητα όξινων αποθέσεων.

Τα αποτελέσματα της όξινης βροχής στην άγρια ζωή μπορεί να είναι μεγάλης εκτάσεως. Εάν ο πληθυσμός ενός φυτού ή ενός ζώου επηρεαστεί από την όξινη βροχή, τα ζώα τα οποία τρέφονται από αυτό τον οργανισμό μπορούν επίσης να υποφέρουν. Συνεπώς, ένα ολόκληρο οικοσύστημα μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο.

β) Υδάτινα οικοσυστήματα:

Η αύξηση της οξύτητας των επιφανειακών νερών έχει σημαντική επίδραση στους πληθυσμούς των υδρόβιων οργανισμών. Ορισμένα είδη οργανισμών που ζουν στο νερό είναι πολύ ευαίσθητα στην οξύτητα, ενώ άλλα λιγότερο. Για παράδειγμα οι αχιβάδες του φρέσκου νερού και οι νύφες των κουνουπιών αρχίζουν να πεθαίνουν μόλις το pH του νερού φτάσει στο 6. Οι βάτραχοι μπορούν γενικά να επιβιώσουν σε περισσότερο όξινο νερό, αλλά αν η συγκέντρωση σε νύφες κουνουπιών μειωθεί από την όξινη βροχή, ο πληθυσμός των βατράχων μπορεί και αυτός να μειωθεί. Τα αυγά των ψαριών των περισσότερων ειδών σταματούν να εκκολάπτονται σε pH = 5.

Σε pH χαμηλότερο του 4,0 το νερό είναι σχεδόν άγονο και ανίκανο να υποστηρίξει οποιοδήποτε είδος ζωής. Σε τόσο όξινες λίμνες μόνο ινώδη άλγη και μύκητες μπορούν να αναπτυχθούν στον πυθμένα.

Συνήθως η αύξηση της οξύτητας των νερών συνοδεύεται και από μια σημαντική αύξηση της ποσότητας των διαλυμένων μετάλλων και τα δύο φαινόμενα δρουν συνεργιστικά. Τα ζώα της στεριάς που εξαρτώνται από τους θαλάσσιους οργανισμούς επηρεάζονται κι αυτά. Οι επιστήμονες βρήκαν ότι οι πληθυσμοί φιδιών που ζουν μέσα ή κοντά σε ρυπασμένο από όξινη βροχή νερό μειώνονται.

γ) Υλικά και Μνημεία:

Η όξινη βροχή καταστρέφει τα κτίρια, τα μνημεία, τα αυτοκίνητα και άλλες κατασκευές διαβρώνοντας τα δομικά υλικά (μάρμαρο, γρανίτη,

ασβεστόλιθο, κ.λ.π.), τα μέταλλα ή κάθε είδους υλικό το οποίο εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3.4. Γερμανική διακοσμητική φιγούρα, Αριστερά: το 1908 και δεξιά: το 1968, φωτογρ.: Herten Cast

Πηγή: <http://www.york.ac.uk/inst/sei/rapid2/impacts corrosion.html>

Η διάβρωση των μνημείων οφείλεται στα οξέα που περιέχει η όξινη βροχή. Το νιτρικό και το θειικό οξύ αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο με αποτέλεσμα το σχηματισμό ευδιάλυτων αλάτων που απομακρύνονται εύκολα με το νερό της βροχής:



Οι αντιδράσεις αυτές είναι πολύ γρήγορες και οδηγούν στην διάλυση των μαρμάρων.

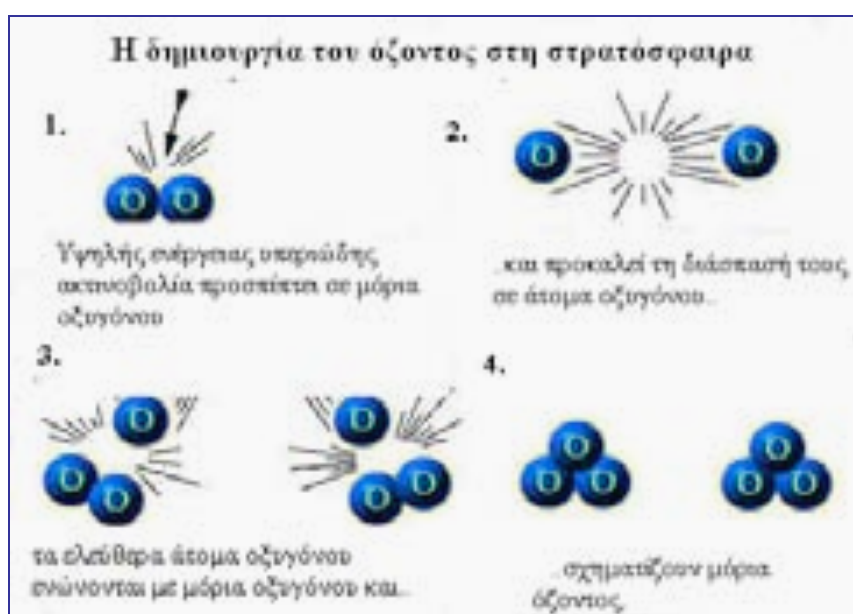
Σύμφωνα με την αντίδραση (5) και εδώ όπως και στην περίπτωση ξηρής απόθεσης SO_2 (βλ. αντίδραση 3, &2.3), έχουμε σχηματισμό ενός επιφανειακού στρώματος γύψου. Στην πραγματικότητα και τα δύο φαινόμενα (όξινη βροχή και ξηρή απόθεση SO_2) συμβάλλουν στη διάβρωση των μνημείων. Η διάβρωση αυτή μπορεί να έχει μεγάλες οικονομικές συνέπειες και σε πόλεις με πολλά ιστορικά κτίρια, τραγικές για την ιστορική μνήμη της ανθρωπότητας. Τόσο ο Παρθενώνας στην Αθήνα, όσο και το Taj Mahal στην Άγρα της Ινδίας καταστρέφονται από την όξινη ρύπανση.

3.3. Η ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον στην στρατόσφαιρα

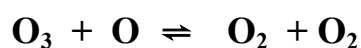
Όπως έχουμε αναφέρει το όζον στη στρατόσφαιρα σχηματίζεται με την επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας ($\lambda < 200\text{nm}$) σε μόρια οξυγόνου (βλ. εικόνα 3.5).

Εικόνα 3.5.



Πηγή: www.solcomhouse.com/Ozocrea.jpg

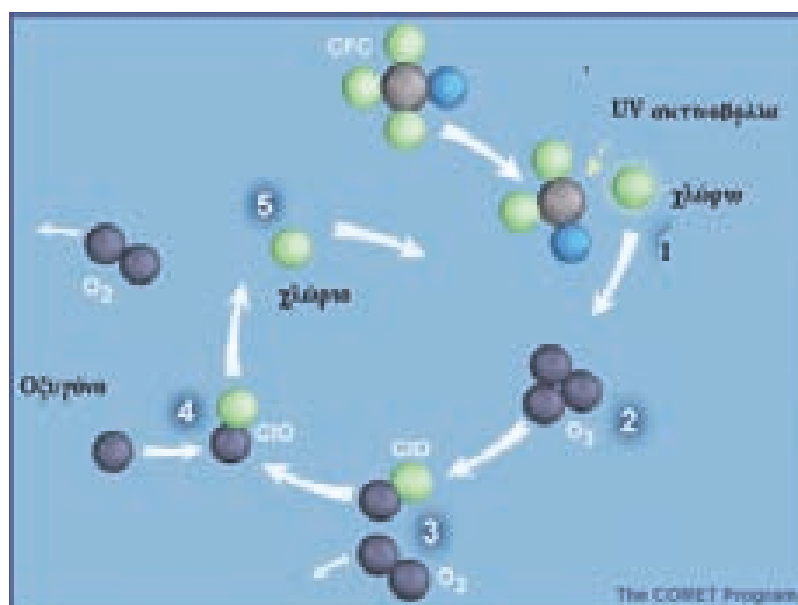
Με έναν παρόμοιο μηχανισμό το στρατοσφαιρικό όζον διασπάται από ελεύθερα άτομα οξυγόνου με την επίδραση και πάλι της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας ($300 < \lambda < 200\text{nm}$). Έτσι φυσιολογικά στην στρατόσφαιρα υπάρχει ισορροπία ανάμεσα στο όζον που σχηματίζεται και διασπάται.



Εδώ όμως και αρκετά χρόνια η ισορροπία αυτή έχει διαταραχτεί εξαιτίας της χρήσης ουσιών που καταστρέφουν το όζον.

Πως καταστρέφεται το όζον

Η στιβάδα του όζοντος απορροφά τόσο πολύ την υπεριώδη ακτινοβολία ώστε αυτή δεν φτάνει ποτέ στο έδαφος. Ορισμένες όμως πτητικές οργανικές ενώσεις που περιέχουν χλώριο ή βρώμιο (βλ. &2.4), προκαλούν την καταστροφή του εκθέτοντας τη ζωή στο έδαφος σε επικίνδυνα επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας. Αυτό συμβαίνει διότι οι ενώσεις αυτές είναι πολύ σταθερές και διαχέονται εύκολα στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας (περίπου στα 30 km). Στα μεγαλύτερα αυτά ύψη, διασπώνται με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με αποτέλεσμα ο δεσμός C – Cl (ή C-Br) που είναι ασθενέστερος να σπάει παράγοντας άτομα χλωρίου (ή βρωμίου). Ένα μόνο ελεύθερο άτομο χλωρίου σ' αυτό το ύψος μπορεί να καταστρέψει χιλιάδες μόρια όζοντος με αποτέλεσμα την εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος. Για να καταλάβουμε καλύτερα πως γίνεται αυτό ας εξετάσουμε σαν παράδειγμα το μηχανισμό καταστροφής του όζοντος από τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs), όπως τον περιγράφει σχηματικά η εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6. Σχηματική παράσταση του μηχανισμού καταστροφής του όζοντος.

Πηγή: <http://www.ucar.edu/learn/images/o3split.gif>

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.*:

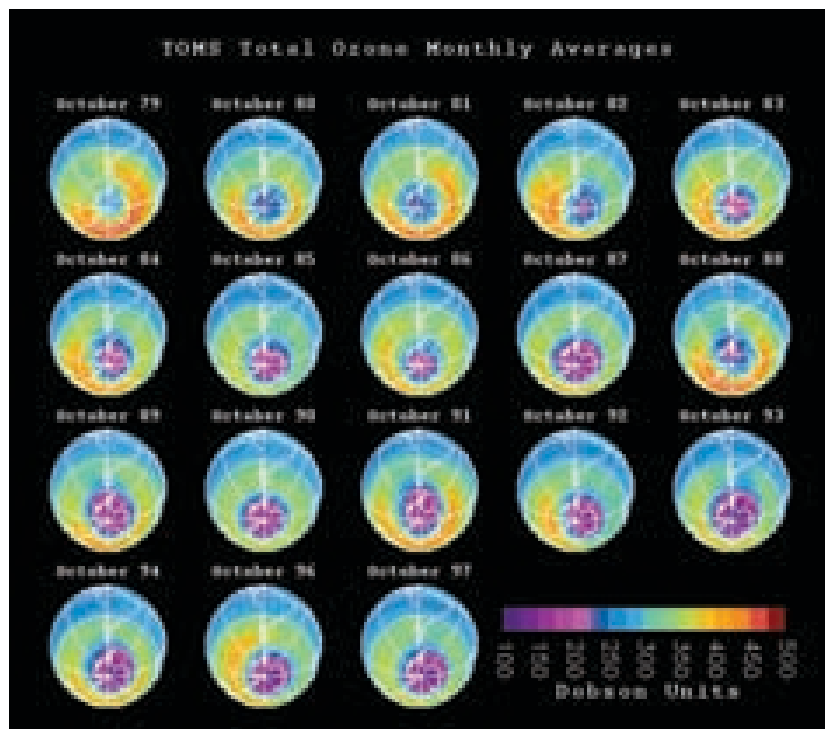
- Αρχικά με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας ελευθερώνεται ένα άτομο χλωρίου ανά μόριο χλωροφθοράνθρακα.
- Τα ελεύθερα άτομα του χλωρίου αντιδρούν με μόρια όζοντος με άμεσο αποτέλεσμα τη διάσπασή τους.
- Από την διάσπαση αυτή σχηματίζονται μόρια οξυγόνου και ελεύθερες ρίζες χλωρίου-οξυγόνου ($\text{ClO}\cdot$).
- Οι ελεύθερες ρίζες $\text{ClO}\cdot$ αντιδρούν με άτομα οξυγόνου δίνοντας μόρια οξυγόνου και ελεύθερα άτομα χλωρίου.
- Τα ελεύθερα πλέον άτομα χλωρίου μπορούν να αντιδράσουν ξανά και να καταστρέψουν και άλλα μόρια όζοντος.

Ένα και μόνο ελεύθερο άτομο χλωρίου σ' αυτό το ύψος μπορεί να καταστρέψει μέχρι και 100.000 μόρια όζοντος μια και το χλώριο συμπεριφέρεται σαν καταλύτης και παραμένει αναλλοίωτο σε όλη τη διαδικασία . Κατά συνέπεια το όζον καταστρέφεται και η συγκέντρωση του στην στρατόσφαιρα μειώνεται. Υπολογίζεται ότι η συγκέντρωση του όζοντος πάνω από την Ελλάδα έχει μειωθεί συνολικά κατά 5%.

Οι περιοχές της στρατόσφαιρας με αρκετά μειωμένη συγκέντρωση όζοντος χαρακτηρίζονται σαν τρύπες του όζοντος. Η πιο γνωστή και σημαντική τρύπα του όζοντος βρίσκεται πάνω από την Ανταρκτική και έχει έκταση $7.000.000\text{km}^2$. Η εικόνα 3.7. δείχνει την εξέλιξη της τρύπα του όζοντος στην Ανταρκτική από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 μέχρι το και 1997.

* Ο μηχανισμός αυτός διερευνήθηκε από τους M. Molina και F.S. Rowland. Οι επιστήμονες αυτοί μαζί με τον P. Crutzen τιμήθηκαν το 1995 με το Νόμπελ Χημείας για τις έρευνες τους που αφορούσαν στους μηχανισμούς καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Εικόνα 3.7. Η εξέλιξη της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική (1980-1997)



Πηγή: www.globalchange.umich.edu/globalchange/current/lectures/ozone_deplete/ozone_deplete.html

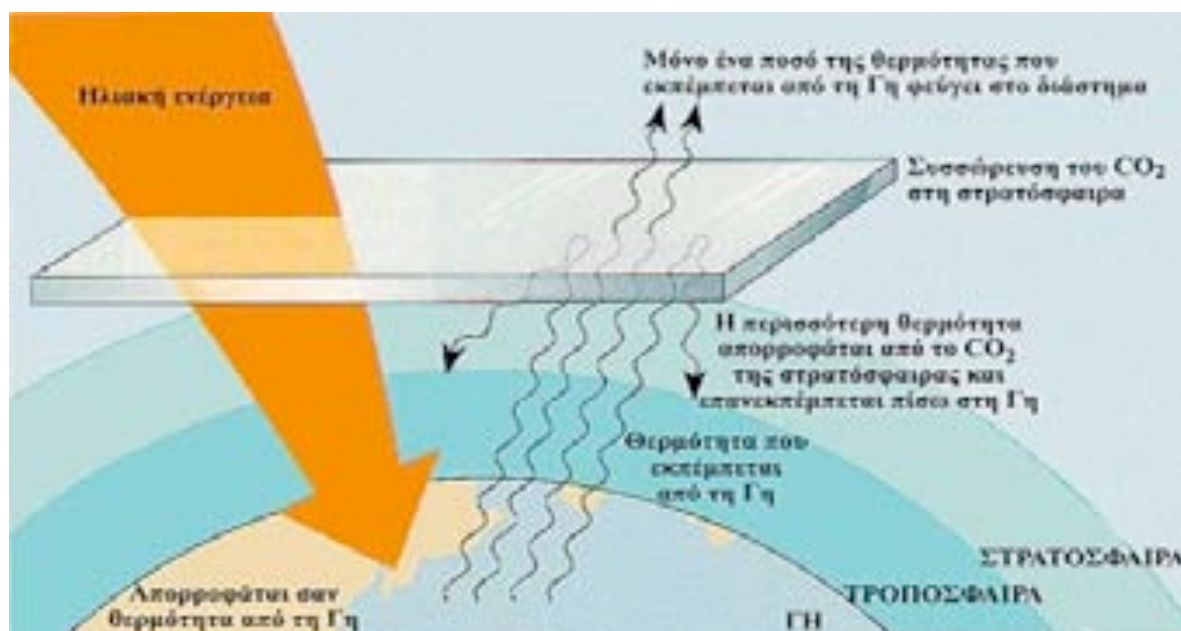
Επιπτώσεις

Η ελάττωση του όζοντος έχει σαν συνέπεια αύξηση του ποσοστού της υπεριώδους ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Η αύξησή αυτή μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις:

- στα υλικά, π.χ. τα συνθετικά πολυμερή και τα βιοπολυμερή με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας αποικοδομούνται πιο γρήγορα,
- στα φυτά επηρεάζοντας τις φυσιολογικές διαδικασίες (π.χ. την κυκλοφορία των θρεπτικών στοιχείων) και την ανάπτυξή τους,
- στους υδρόβιους οργανισμούς μειώνοντας τις δυνατότητες επιβίωσης των οργανισμών που αποτελούν το φυτοπλαγκτόν και πολλών οργανισμών που βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους.
- στην υγεία των ανθρώπων γιατί προξενεί βλάβες στο ανοσοποιητικό σύστημα και ευνοεί την ανάπτυξη οφθαλμικών παθήσεων (π.χ. καταρράκτη) και καρκίνων του δέρματος.

3.4. Η ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην γη απορροφάται από την επιφάνειά της, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό αντανακλάται προς την ατμόσφαιρα. Εκεί μια ομάδα αερίων, με σημαντικότερα τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα, απορροφούν μεγάλο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, την οποία στη συνέχεια επανεκπέμπουν προς τη γη. Το φαινόμενο αυτό συμβάλει στην θέρμανση της γης γιατί η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι έντονα θερμαντική. Χωρίς αυτή τη δευτερογενή θέρμανση, η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης θα ήταν πολύ μικρότερη, η γη θα καλύπτονταν συνολικά από πάγους και επομένως η ζωή με τη σημερινή της μορφή θα ήταν αδύνατη. Αυτός ο μηχανισμός θέρμανσης της γης είναι ανάλογος της λειτουργίας του θερμοκηπίου γι' αυτό και ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου».



Εικόνα 3.8. Σχηματική περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Πηγή: www.aegean.gr/gympeir/thermokipio.htm

Οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και τα άλλα αέρια (μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, κ.ά.) που απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, είναι γνωστά σαν *αέρια του θερμοκηπίου*. Είναι προφανές ότι κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, επηρεάζει το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που δεσμεύεται και κατά συνέπεια την τιμή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης.

Οι υδρατμοί, αν και απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μετά τη βιομηχανική επανάσταση αυξάνονται συνεχώς. Έτσι ενισχύεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αυξάνεται η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης.

Από το 1860 μέχρι σήμερα, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης έχει αυξηθεί κατά $0,3 - 0,6^{\circ}\text{C}$. Η αύξηση αυτή όσο κι αν φαίνεται ‘ασήμαντη’ είχε τις παρακάτω επιπτώσεις:

- Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα οι δέκα πιο ζεστές χρονιές εμφανίστηκαν τα τελευταία 15 χρόνια του με το 1998 να είναι η πιο ζεστή χρονιά από όλες.
- Το επίπεδο των θαλασσών έχει ανυψωθεί έως τέσσερα περίπου εκατοστά.
- Η συχνότητα των εξαιρετικά έντονων βροχοπτώσεων έχει αυξηθεί.

Τα αέρια του θερμοκηπίου

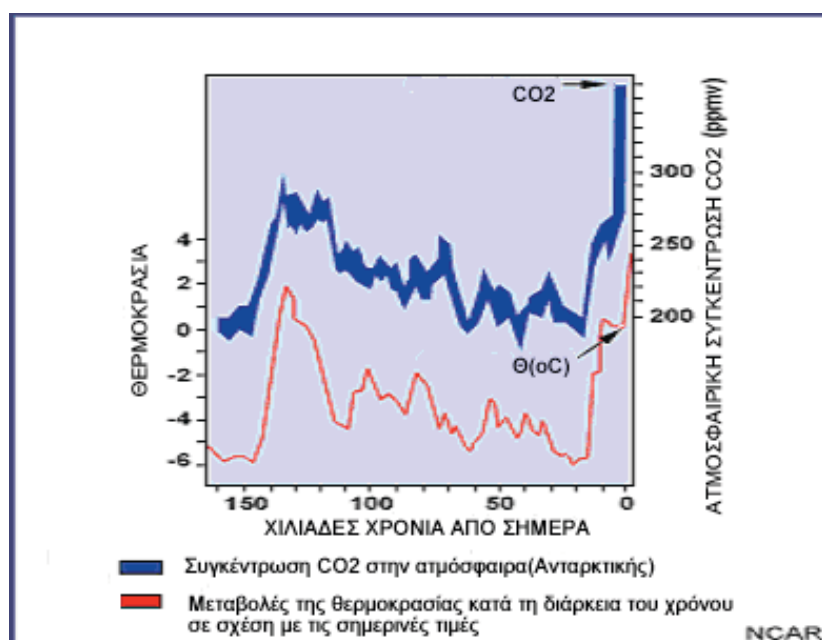
α) Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

Θεωρείται το πιο σημαντικό από τα αέρια του θερμοκηπίου. Η αύξηση της συγκεντρώσεως του στην ατμόσφαιρα οφείλεται κατ’ εξοχήν στις καύσεις των ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου και παραγώγων του, και φυσικού αερίου) και βιομάζας (κυρίως ξύλου και των παραγώγων του). Ένα επίσης σημαντικό τμήμα του οφείλεται στην αποψίλωση των δασών και τη μετατροπή φυσικών οικοσυστημάτων (λιβάδια, δάση) σε αγροτικές εκτάσεις.

Τα φυσικά οικοσυστήματα μπορούν να απορροφήσουν 20 με 100 φορές περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα επιφάνειας από τα αγροτικά.

Εκτιμάται ότι από το 1750 μέχρι σήμερα, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 29% και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,5% κάθε χρόνο. Θεωρείται ότι συμβάλλει κατά 55% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η στενή σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και τη μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης φαίνεται στην εικόνα 3.9.

Εικόνα 3.9. Μεταβολή της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε συνάρτηση με τον χρόνο.



Πηγή: www.ucar.edu/learn/1_2_1.htm

β) Το μεθάνιο (CH₄).

Το μεθάνιο εκλύεται κατά την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή των ορυκτών καυσίμων (κυρίως του φυσικού αερίου), από την αποσύνθεση οργανικής ύλης στους χώρους συγκέντρωσης στερεών αποβλήτων, από γεωργικές καλλιέργειες (ορυζώνες) και από τις διαδικασίες πέψης των μηρυκαστικών.

Υπολογίζεται ότι μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 150%. Από το 1980 όμως και μετά παρατηρείται μια τάση μείωσης των ρυθμών αύξησης της συγκεντρώσεως του στην ατμόσφαιρα. Εκτιμάται ότι συμβάλλει κατά 15% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

γ) Το υποξείδιο του αζώτου (N_2O).

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του υποξειδίου του αζώτου οφείλονται κυρίως στην χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στην γεωργία και στις βιομηχανικές διεργασίες παρασκευής νιτρικού και αδιπικού οξέος.

Εκτιμάται ότι από το 1750 μέχρι σήμερα, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 11% και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,25% κάθε χρόνο. Θεωρείται ότι συμβάλλει κατά 5% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

δ) Οι αλογονούχες ενώσεις.

Το υπόλοιπο 25% του φαινομένου του θερμοκηπίου οφείλεται σε αλογονούχες ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές προέρχονται αποκλειστικά από ανθρωπογενείς πηγές και είναι:

- οι χλωροφθοράνθρακες και οι υδρογονοχλωροφθοράνθρακες,
- οι υπερφθοριούχοι άνθρακες (PFCs). Είναι για ενώσεις που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και φθόριο (CF_4 , C_2F_6 ,...), χρησιμοποιούνται κυρίως σε διάφορες διαδικασίες της βιομηχανίας ηλεκτρονικών και παράγονται σαν παραπροϊόντα στη βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου,
- το εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Το εξαφθοριούχο θείο μονωτικό αέριο σε ηλεκτρικούς πίνακες υψηλής τάσεως, στην κατασκευή ημιαγωγών και σε διεργασίες χυτεύσεως του μαγνησίου.

Τα αέρια του θερμοκηπίου αποτέλεσαν τον στόχο του πρωτοκόλλου του Kyoto για την Κλιματική Αλλαγή (1997). Σύμφωνα με αυτό, κατά την περίοδο από το 2008 ως το 2012 οι αναπτυγμένες χώρες πρέπει να μειώσουν την παραγωγή των παραπάνω αερίων κατά 5% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Μέχρι σήμερα, το πρωτόκολλο του Kyoto έχει επικυρωθεί από 141 χώρες, ενώ δεν το έχουν επικυρώσει οι **Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής** και η **Αυστραλία** που θεωρούνται υπεύθυνες για το 1/3 των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Επιπτώσεις

Η διερεύνηση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου γίνεται με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων. Όλα σχεδόν τα μοντέλα που έχουν επινοηθεί και χρησιμοποιηθεί προβλέπουν ότι η σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης θα συνεχιστεί. Διαφωνούν όμως για το μέγεθος της αύξησης. Έτσι, προβλέπονται αυξήσεις από 0,6 έως 2,5°C για τα επόμενα 50 χρόνια και από 1,4 έως 5,8°C για όλο τον 21^ο αιώνα.

Μπορεί οι αυξήσεις αυτές να μην φαίνονται σημαντικές, ωστόσο η ιστορία δείχνει ότι δε χρειάζονται μεγάλες αλλαγές θερμοκρασίας για να έχουμε μεγάλες κλιματολογικές αλλαγές. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι κατά την τελευταία εποχή των παγετώνων (πριν περίπου 80.000 χρόνια) η μέση θερμοκρασία στη επιφάνεια της γης ήταν μόνο κατά 5°C μικρότερη από τη σημερινή. Έτσι μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έστω και κατά 3°C μπορεί να προκαλέσει σημαντικές κλιματολογικές αλλαγές.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας θα επιφέρει τη διαστολή των ωκεανών και το μερικό λιώσιμο των πάγων και του χιονιού στους πόλους που θα οδηγήσουν:

- Στην άνοδο της στάθμης των θαλασσών. Έτσι θα πλημμυρήσουν παραλιακές πόλεις ή περιοχές που βρίσκονται σήμερα περίπου στο επίπεδο της θάλασσας ή χαμηλότερα από αυτό. Πολλοί άνθρωποι αναγκαστικά θα μετακινηθούν, ενώ τα εύφορα δέλτα των ποταμών και πολλές καλλιεργήσιμες εκτάσεις μπορεί να χαθούν.

- Στην περαιτέρω θέρμανση των πόλων. Αυτό θα συμβεί γιατί ο ωκεανός και η γη που θα αποκαλυφθούν αντανακλούν λιγότερο την ηλιακή ακτινοβολία από τον πάγο και το χιόνι που προϋπήρχαν.

Άλλες συνέπειες θα είναι μια αύξηση στην ένταση και τη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, καθώς και αλλαγές στην ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων. Σε ορισμένα μέρη οι βροχοπτώσεις θα αυξηθούν, ενώ σε ορισμένες άλλες περιοχές θα μειωθούν αισθητά. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί ποιες περιοχές και με ποιο τρόπο θα επηρεαστούν περισσότερο. Εικάζεται πάντως ότι οι βροχοπτώσεις θα αυξηθούν στις τροπικές και βόρειες περιοχές της γης και θα μειωθούν στις περιοχές με μέσο γεωγραφικό πλάτος. Πάντως, η μεταβολή του επιπέδου των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας, αναμένεται να επηρεάσει:

- Τη διαθεσιμότητα του νερού σε ορισμένες περιοχές.
- Τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης και τη διάρκεια των περιόδων ανάπτυξης των φυτών. Το γεγονός αυτό σε περιοχές όπου θα μειωθούν οι βροχοπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένες σοδιές.
- Τη διάπλαση ολόκληρων περιοχών. Για παράδειγμα ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης ανάμεσα στον 20° και το 40° παράλληλο ή ακόμη, στα μεγάλα ύψη, την εξαφάνιση των αλπικών δασών και τη μετακίνηση των εύκρατων δασών σε περιοχές που πριν ήταν αρκετά κρύες για να επιβιώσουν.
- Την αύξηση των εντόμων και των παρασίτων.

Οι αβεβαιότητες και ο αντίλογος

Το κλίμα της γης είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μιας σειράς παραγόντων και μηχανισμών που ακόμη δεν έχουν πλήρως διευκρινισθεί. Επιπλέον, το ισοζύγιο ακτινοβολίας και επομένως η τιμή της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης δεν καθορίζεται μόνο από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το

ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που εκπέμπεται προς την γη, την τροχιά της σε σχέση με τον ήλιο, το είδος και την ποσότητα των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων, κ.ά.

Οι διακυμάνσεις αυτών των παραγόντων είναι συνήθως δύσκολο και μερικές φορές αδύνατον να προβλεφθούν, ενώ δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί και ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούν. Για παράδειγμα, τα αερολύματα που δημιουργούνται από τις εκρήξεις των ηφαιστείων προκαλούν (λόγω σύστασης) σκεδασμό της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλοντας έστω και σε μια προσωρινή (για 2 με 5 χρόνια) μείωση της θερμοκρασίας. Πως όμως είναι δυνατό να προβλεφθούν οι εκρήξεις των ηφαιστείων, καθώς και η ποσότητα των αερολυμάτων που θα δημιουργηθεί;

Έτσι, αν και είναι απαραίτητο να μειωθούν, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (ιδιαίτερα του CO₂), καμία πρόβλεψη δε μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής. Γι' αυτό επίσης δε λείπουν και κάποια σενάρια που θεωρούν ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας μπορεί να αντισταθμιστεί μέσα από διάφορους μηχανισμούς. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι θα αυξηθούν οι νεφώσεις στην ατμόσφαιρα μια και θα εξατμίζονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού από τους ωκεανούς. Έτσι θα αυξηθεί το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στο διάστημα, οπότε θα μειωθεί και το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια της γης. Ή ακόμη ότι με την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας θα μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων και θα αυξηθούν οι ρυθμοί αναπτύξεως των φυτών με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκεντρώσεως του CO₂ στην ατμόσφαιρα, αγνοώντας βέβαια το πρόβλημα της αποψιλώσεως των τροπικών δασών.

4. ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ



4.1. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ

Τα προβλήματα που δημιουργεί η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σημαντικά και πολύπλοκα. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. συνολική κλιματική αλλαγή) υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την ένταση και τις μελλοντικές τους επιπτώσεις. Γι' αυτό λοιπόν χρειάζεται έγκαιρη και αποτελεσματική αντιμετώπιση της, δηλαδή πρόληψη. Η *αρχή της πρόληψης* είναι μία από τις βασικές αρχές των πολιτικών Βιώσιμης Ανάπτυξης και της Πράσινης Χημείας. Στα πλαίσια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης η αρχή αυτή θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής: *«είναι προτιμότερο να προλάβουμε τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων αντί να προσπαθούμε να τους αντιμετωπίσουμε εκ των υστέρων»*.

Όπως είδαμε, οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων οφείλονται κυρίως στη χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, τη θέρμανση, τις μεταφορές και τις βιομηχανικές διεργασίες. Αυτό σημαίνει ότι η επίλυση των προβλημάτων που γεννά η ατμοσφαιρική ρύπανση περνάει αρχικά μέσα από τη χρήση καθαροτέρων μορφών ενέργειας. Με τον όρο **καθαρότερες μορφές ενέργειας** εννοούμε:

- τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας,
- το υδρογόνο και τα στοιχεία (κυψέλες) καυσίμου,
- τα βιοκαύσιμα για τα μεταφορικά μέσα.

Επιπλέον, όπως γνωρίζουμε, τα ορυκτά καύσιμα δεν αποτελούν μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Τα κοιτάσματά τους είναι δεδομένα και οι ρυθμοί χρήσης τους ανοδικοί. Διάφορα σενάρια μάλιστα προβλέπουν ότι θα εξαντληθούν σε λίγες δεκαετίες. Έτσι η χρήση καθαροτέρων μορφών ενέργειας μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά όχι μόνο στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και στη βιώσιμη διαχείριση και την προστασία των φυσικών ενεργειακών αποθεμάτων.

Η Πράσινη Χημεία θεωρεί ότι η πρόληψη της ρυπάνσεως πρέπει να γίνεται στην πηγή. Για το σκοπό αυτό, είναι αναγκαία «η χρήση διεργασιών, πρακτικών, υλικών, προϊόντων και ενέργειας που αποτρέπουν ή ελαχιστοποιούν τη δημιουργία ρύπων και απορριμμάτων, και ελαττώνουν το συνολικό κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων και το περιβάλλον». Η θέση αυτή, που διατυπώθηκε από την Environment Canada, συνοψίζει εύστοχα τις αρχές, τις πρακτικές και τους σκοπούς της Πράσινης Χημείας και μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως. Καθώς λοιπόν, η δημιουργία των ατμοσφαιρικών ρύπων οφείλεται κυρίως στη χρήση ορυκτών καυσίμων και οργανικών διαλυτών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η πρόληψη των εκπομπών τους σχετίζεται άμεσα με:

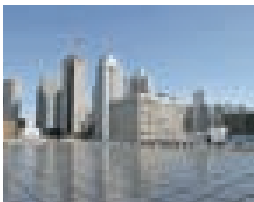
- τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των διαφόρων διαδικασιών,
- το είδος των διαλυτών και την έκταση χρήσης τους τόσο στη βιομηχανική διαδικασία όσο και στα τελικά προϊόντα.
- την πρόοδο της τεχνολογίας,

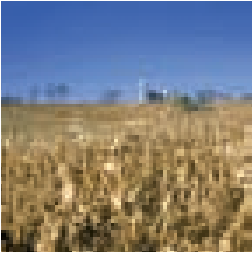
Τέλος, η εκ των υστέρων αντιμετώπιση των ατμοσφαιρικών ρύπων με κατεργασία των αερίων, αν και δεν θεωρείται πρόληψη, σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη (π.χ. καταλύτες αυτοκινήτων), ενώ σε άλλες μπορεί να δράσει συμπληρωματικά.

4.2. ΚΑΘΑΡΟΤΕΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.2.1. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Πρόκειται για πηγές ενέργειας που, θεωρητικά, μπορούν να δίνουν συνεχώς ενέργεια. Επιπλέον είναι πολύ πιο φιλικές προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι σημερινές δυνατότητες χρήσης τους συνοψίζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 	Φωτοβολταϊκά στοιχεία και Ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανση νερού / χώρων. Εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει προς το παρόν μικρή αποδοτικότητα (15-20%).
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 	Ανεμογεννήτριες: ηλεκτρισμός / άντληση νερού. Χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλη. Εξαρτάται από την ένταση των ανέμων, είναι όμως η μόνη που έχει την ίδια περίπου απόδοση με τα ορυκτά καύσιμα. Στόχος της Ε.Ε. είναι το ποσοστό της συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στη παραγωγή ηλεκτρισμού να φτάσει το 2010 το 12%.
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 	Ατμός και ζεστό νερό από το φλοιό της γης για παραγωγή ηλεκτρισμού θέρμανση / ψύξη, αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η παραγωγή ηλεκτρισμού είναι εφικτή κυρίως όπου υπάρχουν μεγάλα αποθέματα, δηλ. στα όρια των τεκτονικών πλακών. Σήμερα βρίσκεται σε εξέλιξη τεχνολογία που στοχεύει στην εκμετάλλευση της θερμότητας που κλείνουν διάφορα θερμά, άνυδρα πετρώματα του φλοιού της γης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΚΕΑΝΩΝ 	Θερμική ενέργεια από τις διαφορές θερμοκρασίας του νερού, Μηχανική ενέργεια από τα κύματα και τις παλίρροιες Και οι δύο αυτές μορφές ενέργειας μπορούν να χρησιμεύσουν για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρισμού. Ωστόσο η σχετική τεχνολογία έχει προς το παρόν μικρή αποδοτικότητα και βρίσκεται περισσότερο στο στάδιο των προτύπων.
ΒΙΟΜΑΖΑ 	Σαν πηγές βιομάζας χρησιμοποιούνται αγροτικά και δασικά υπολείμματα, αστικά απόβλητα, ενεργειακές καλλιέργειες Η ενέργεια που περιέχει: ▪ αποδίδεται είτε με <i>καύση</i> της ίδιας της βιομάζας είτε μέσω προϊόντων της (<i>βιοαέριο, βιοκαύσιμα</i>). ▪ χρησιμοποιείται για: θέρμανση χώρων, παραγωγή ατμού και ηλεκτρισμού, κίνηση οχημάτων. Χρειάζεται πάντα και άλλη πηγή ενέργειας. Περισσότερο σε τοπική κλίμακα.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι αν και η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεν είναι πάντα κατ' ανάγκη και μια καθαρή πηγή ενέργειας. Όλοι ξέρουμε για παράδειγμα ότι τα αστικά απορρίμματα περιέχουν μεταξύ άλλων και αλογονοπαράγωγα που μπορεί κατά την καύση να σχηματίσουν διοξίνες και φουράνια. Έτσι, το πόσο καθαρή πηγή ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί η βιομάζα εξαρτάται τόσο από τη σύστασή της όσο και από την τεχνολογία καύσεως που εφαρμόζεται.

Από την άλλη μεριά βέβαια, είναι γεγονός ότι η βιομάζα είναι μια φυσική αποθήκη ηλιακής ενέργειας και συμμετέχει στον κύκλο του άνθρακα στην φύση. Έτσι το ποσό του CO₂ που παράγεται κατά την καύση της, είναι περίπου το ίδιο με το ποσό του CO₂ που απορροφούν τα φυτά κατά την ανάπτυξή τους για να φτιάξουν την ίδια ποσότητα βιομάζας. Από αυτή την άποψη, όταν η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τη βιομάζα ή τα ενεργειακά της προϊόντα γίνεται με ένα βιώσιμο τρόπο, έχουμε σημαντική ελάττωση στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Γενικότερα θεωρείται ότι η χρήση της βιομάζας οδηγεί σε μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου, ενώ οι εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων εξαρτώνται από την τεχνολογία που εφαρμόζεται.

4.2.2. Το υδρογόνο και τα στοιχεία καυσίμου

Το *υδρογόνο* είναι το πιο απλό και το πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν. Μπορούμε να το πάρουμε από διάφορους υδρογονάνθρακες με *αναμόρφωση* ή *αεριοποίηση* και από το νερό με *ηλεκτρόλυση*. Επίσης ορισμένα φύκια και βακτήρια κάτω από ορισμένες συνθήκες παράγουν υδρογόνο χρησιμοποιώντας το ηλιακό φως. Το υδρογόνο θεωρείται σαν το ιδανικό αντιρρυπαντικό καύσιμο για το άμεσο μέλλον. Προς το παρόν όμως έχει μεγάλο κόστος παραγωγής και υπάρχουν σημαντικά προβλήματα όσον αφορά στη μεταφορά και στην αποθήκευσή του.

Επιπλέον κατά την παραγωγή υδρογόνου με αναμόρφωση υδρογονανθράκων, καταναλώνεται περίπου το 20-30% του υδρογονάνθρακα και εκλύονται αέρια του «θερμοκηπίου». Το πρόβλημα της ρύπανσης υπάρχει και στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Εάν όμως η ηλεκτρική ενέργεια έχει παραχθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τότε κατά την παραγωγή του υδρογόνου εκλύονται μηδενικοί ρύποι.

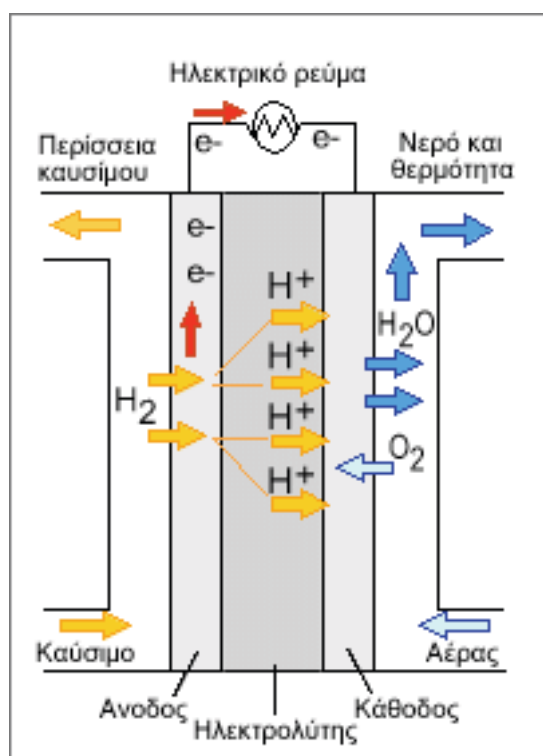
Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε *μηχανές εσωτερικής καύσης* και σε *κυψέλες ή στοιχεία καυσίμου*. Στα **στοιχεία καυσίμου** το υδρογόνο ενώνεται με οξυγόνο μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας και παράγεται ηλεκτρισμός, θερμότητα και καθαρό νερό.

Υπάρχουν αρκετοί τύποι στοιχείων καυσίμου, όλα όμως έχουν την ίδια βασική δομή: δύο ηλεκτρόδια ανάμεσα στα οποία υπάρχει ένας στερεός ή υγρός ηλεκτρολύτης (βλ. εικόνα 4.2). Το υδρογόνο εισέρχεται στην περιοχή της ανόδου και το οξυγόνο στην περιοχή της καθόδου. Συχνά υπάρχει και

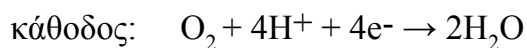


Εικόνα 4.1: Αριστερά: πρατήριο υδρογόνου (www.hydrogenenergy.gov),
Δεξιά: Δεξαμενές υδρογόνου (www.gmcanada.com/inm/gmcanada).

ένας καταλύτης που επιταχύνει τις αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια. Η λειτουργία τους θυμίζει τις μπαταρίες, αλλά αντίθετα με αυτές τα στοιχεία καυσίμου παράγουν συνεχώς ενέργεια (ηλεκτρισμό, θερμότητα) και δεν χρειάζονται επαναφόρτιση.



Αντιδράσεις:



Εικόνα 4.2. Βασική δομή και λειτουργία ενός στοιχείου καυσίμου τύπου «μεμβράνης ανταλλαγής ιόντων» (P.E.M.).

Πηγή: www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

Υπάρχουν στοιχεία που περιλαμβάνουν και ένα μετασχηματιστή ή επεξεργαστή καυσίμου (fuel reformer) και μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορα καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο, μεθανόλη ή και βενζίνη) σαν πηγή

υδρογόνου. Ακόμα όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις, επειδή τα στοιχεία καυσίμου στηρίζονται σε ηλεκτροχημικές διεργασίες, οι εκπομπές ρύπων είναι κατά πολύ μικρότερες από τις εκπομπές που παρατηρούνται κατά την καύση και των καθαρότερων ορυκτών καυσίμων.

Κάθε στοιχείο υδρογόνου παράγει ένα μικρό ποσό ρεύματος, συνήθως όμως χρησιμοποιούνται πολλά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους σε συστοιχία. Τέτοιες συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φορητές συσκευές, σε οχήματα, σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούν μικρή ισχύ ρεύματος και για αποκεντρωμένη συμπαραγωγή (παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, βλ. &4.3.1) σε κτίρια και βιομηχανικές μονάδες.

Μακροπρόθεσμα προβλέπεται ότι θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν ένα σημαντικό μέρος των συστημάτων καύσεως σε όλους τους τομείς παραγωγής και καταναλώσεως ενέργειας. Προς το παρόν όμως η χρήση τους είναι πολύ περιορισμένη. Αυτό οφείλεται τόσο στο μεγάλο κόστος παραγωγής και τα προβλήματα μεταφοράς και αποθηκεύσεως του υδρογόνου όσον και σε ορισμένα ζητήματα που αφορούν στην ίδια την τεχνολογία τους.

4.2.3. Τα βιοκαύσιμα

Ένα μεγάλο και δυσεπίλυτο πρόβλημα στην προσπάθεια ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί η μεγάλη εξάπλωση των μέσων μεταφοράς και ιδιαίτερα των οδικών μέσων. Το ιδιωτικό αυτοκίνητο είναι πλέον σύμβολο κοινωνικής καταξίωσης και η οδήγηση του αναπόσπαστο μέρος του τρόπου ζωής εκατομμυρίων ανθρώπων. Έτσι έχουμε έναν τεράστιο αριθμό μικρών και διαφορετικών πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης που κυκλοφορούν εδώ και εκεί, πολλές φορές μάλιστα πολύ κοντά μας.

Στην κατεύθυνση επιλύσεως των προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως που οφείλονται στα μέσα μεταφοράς, μπορεί να συμβάλλουν τα βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα παράγονται από βιομάζα και μπορούν να

αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα για τα μέσα μεταφοράς ή να χρησιμοποιηθούν σε μίγματα με αυτά. Σαν βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ.



Η **βιοαιθανόλη** παράγεται από αμυλούχα και σακχαρούχα φυτά (καλαμπόκι, σόγια, σοργό, σακχαρότευτλα, σακχαροκάλαμο...) ή παραπροϊόντα της βιομηχανίας ζαχάρεως (μελάσα) κυρίως με αλκοολική ζύμωση. Σήμερα επιδιώκεται και η παρασκευή της από κυτταρίνη.

Χρησιμοποιείται σε υψηλής περιεκτικότητας μίγμα 85% (E85) με βενζίνη σε ειδικά οχήματα. Η ποσότητα αυτή (15%) της βενζίνης είναι απαραίτητη για το ξεκίνημα της μηχανής όταν κάνει κρύο. Σήμερα υπάρχουν στην αγορά και οχήματα ειδικής τεχνολογίας (Flexible Fuel Vehicles) που μπορούν να κινηθούν τόσο με E85 όσο και με βενζίνη, όταν η E85 δεν είναι διαθέσιμη.

Το **βιοντίζελ** παράγεται από νέα και χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη με τη διεργασία της μετεστεροποίησης. Έτσι, το βιοντίζελ αποτελείται ουσιαστικά από αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του (B100) ή σε μίγματα διαφορετικής περιεκτικότητας με το συμβατικό πετρέλαιο ντίζελ χωρίς να απαιτείται καμία ιδιαίτερη μετατροπή της μηχανής.

Τα πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων απέναντι στα συμβατικά καύσιμα (βλ. και πίνακα 4.2) είναι ότι:

- πρακτικά δεν περιέχουν θείο, ούτε αρωματικούς υδρογονάνθρακες,
- περιέχουν οξυγόνο και καίγονται πληρέστερα με αποτέλεσμα την καθαρή μείωση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και σωματιδίων από τα οχήματα,
- καθώς προέρχονται από βιομάζα, το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπουν κατά ένα μεγάλο μέρος ανακυκλώνεται στη φύση.
- Το βασικό μειονέκτημά τους είναι μια αύξηση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Αυτό όμως

μπορεί να αντιμετωπισθεί με την ειδική τεχνολογία που υπάρχει ανάλογα με την περίπτωση (τριοδικοί καταλύτες, παγίδες NO_x, βλ. &4.6.1). Επιπλέον ορισμένες εταιρίες ανέπτυξαν πρόσφατα πρόσθετα που ελαττώνουν τις εκπομπές NO_x κατά τη χρήση μιγμάτων βιοντίζελ.

Πίνακας 4.2. Μέσες εκπομπές βιοντίζελ σε σύγκριση με το κοινό ντίζελ σύμφωνα με την U.S.E.P.A*

Τύπος εκπομπών	B100**	B20**
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	-67%	-20%
Μονοξείδιο του άνθρακα	-48%	-12%
Σωματίδια	-47%	-12%
Οξείδια του αζώτου	+10%	+2%
Διοξείδιο του θείου + Θεικά	-100%	-20%
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	-80%	-13%

Πηγή: http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/emissions.pdf

* United States Environmental Protection Agency

(Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος, Η.Π.Α.)

** B100: 100% βιοντίζελ, B20: 20% βιοντίζελ + 80% συμβατικό ντίζελ.

4.3. ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ

«Πρέπει να αναγνωρίσουμε τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που οφείλονται στις ενεργειακές απαιτήσεις (των διεργασιών) και να τις ελαχιστοποιήσουμε. Οι συνθετικές μέθοδοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος»

(Αρχές της Πράσινης Χημείας, dr. P. Anastas et al.)

4.3.1. Η συμπαραγωγή

Συμπαραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στις συμβατικές μονάδες μόνο ένα μέρος της ενέργειας των καυσίμων αξιοποιείται, ενώ το υπόλοιπο χάνεται με τη μορφή θερμότητας στο περιβάλλον. Αντίθετα στις μονάδες συμπαραγωγής, η θερμότητα αυτή δεν χάνεται, αλλά χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων και νερού, παραγωγή ατμού, στην ίδια την παραγωγική διαδικασία ή και για τηλεθέρμανση. Επιπλέον, επειδή ο ηλεκτρισμός παράγεται κοντά στα σημεία καταναλώσεως, υπάρχουν λιγότερες απώλειες κατά την μεταφορά του. Υπολογίζεται ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα των μονάδων συμπαραγωγής είναι κατά 15 με 40% μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών μονάδων με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Αρχικά η συμπαραγωγή συνδέθηκε με την αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και ορισμένες ενεργειοβόρες βιομηχανίες, όπως η βιομηχανία χαρτιού και οι μεγάλες χημικές βιομηχανίες. Σήμερα όμως, με την πρόοδο της τεχνολογίας, η συμπαραγωγή αποτελεί μια ελκυστική και πρακτική πρόταση με πολλές δυνατότητες εφαρμογής στο βιομηχανικό, κτιριακό και εμπορικό τομέα.

Για τη συμπαραγωγή χρησιμοποιούνται κυρίως τα ορυκτά καύσιμα και ιδιαίτερα το φυσικό αέριο. Ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν

αυτόνομα ή και σε συνδυασμό με αυτά και άλλες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια και τα στοιχεία καύσεως. Έτσι ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται μπορούμε να έχουμε σημαντική μείωση στις εκπομπές και άλλων αερίων ρύπων.

4.3.2. Ανακύκλωση θερμότητας και υλικών

Στις συμβατικές μονάδες η θερμότητα που εκλύεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις ή περιέχεται στα καυσαέρια μπορεί, ανάλογα με την περίπτωση, να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ενέργειας σε άλλες διεργασίες, όπως για θέρμανση χώρων και νερού ή ακόμη για την παραγωγή ατμού.

Επίσης, η ανακύκλωση των υλικών έχει πολλά να συνεισφέρει στην κατεύθυνση αυτή. Αρκεί να σκεφτούμε ότι από 20 χρησιμοποιημένα κουτάκια αναψυκτικών η βιομηχανία αλουμινίου μπορεί να φτιάξει ένα καινούργιο, για να συνειδητοποιήσουμε πόσο η ανακύκλωση υλικών μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

4.3.3. Η κατάλυση

Είναι γνωστό ότι οι καταλύτες ελαττώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης των αντιδρώντων και επιτρέπουν την χρήση χαμηλοτέρων θερμοκρασιών. Έτσι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την μετατροπή τους σε προϊόντα με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Σ' αυτό τον τομέα πολλά έχει να προσφέρει και η βιοκατάλυση, μια και η χρήση βιοκαταλυτών επιτρέπει την εφαρμογή ηπιότερων συνθηκών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η παρασκευή της βιοαλκοόλης και η βιοαποθείωση (biodesulfurisation) των μεσαίων κλασμάτων του πετρελαίου με βακτήρια του γένους *Rhodococcus*.

Επιπλέον η κατάλυση προσφέροντας έναν εναλλακτικό μηχανισμό για την αντίδραση μπορεί να απο τρέψει τον σχηματισμό παραπροϊόντων, π.χ. πτητικών οργανικών ενώσεων, που θα μπορούσαν να δράσουν σαν αέριοι ρύποι.

4.3.4. Η ελαχιστοποίηση των διαφυγών

Ένα σημαντικό τμήμα των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων οφείλεται στις συνθήκες μεταφοράς, διανομής και αποθήκευσης των καυσίμων, κυρίως του φυσικού αερίου και των πτητικών κλασμάτων του πετρελαίου. Διαφυγές επίσης μπορεί να έχουμε και στις διάφορες μονάδες, π.χ. από ελαττωματικές ή χαλαρές βαλβίδες, ανεπαρκή μόνωση των αντιδραστήρων, κ.ά.

Τα ίδια ισχύουν και για τους διαλύτες, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις π.χ. βιομηχανία πετροχημικών, μονάδες βαφής και επικαλύψεων όπου το ποσοστό διαφυγών των πτητικών οργανικών ενώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

Γενικά οι διαφυγές μπορεί να αντιμετωπιστούν με τον κατάλληλο εξοπλισμό, την καλή συντήρηση και τη συστηματική επιθεώρηση οχημάτων μεταφοράς, αντλιών, χώρων αποθήκευσης, κ.λ.π.

4.4. ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΤΕΣ

«Η χρήση βοηθητικών ουσιών (π.χ. διαλύτες, βοηθητικά μέσα) θα πρέπει να αποφεύγεται και όπου αυτά χρησιμοποιούνται να είναι αβλαβή».

«Όπου είναι δυνατό, οι συνθετικές μεθοδολογίες θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούν και να παράγουν ουσίες με ελάχιστη ή καθόλου τοξικότητα για την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον»

(Αρχές της Πράσινης Χημείας, dr. P. Anastas et al.)

Η σύγχρονη Χημεία βασίζεται κατά πολύ στην υδροχημική οδό, δηλαδή τη χρήση διαλυτών για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων και τον καθαρισμό ή την απομόνωση ουσιών. Ένα μεγάλο μέρος των διαλυτών είναι πτητικές ή ημιπτητικές οργανικές ενώσεις και αποτελούν βασική πηγή των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) που δρουν σαν ατμοσφαιρικοί ρύποι. Πολλά προϊόντα επίσης, όπως τα χρώματα, τα βερνίκια και οι υπόλοιπες επικαλύψεις, περιέχουν οργανικούς διαλύτες που εξατμίζονται καθώς στεγνώνουν. Αρκετές από αυτές τις πτητικές οργανικές ενώσεις, όπως ήδη αναφέραμε, μπορεί να είναι ερεθιστικές, τοξικές ή ακόμα ύποπτες καρκινογενέσεως.

Όλα αυτά δείχνουν την αναγκαιότητα μιας στροφής της χημικής βιομηχανίας έτσι ώστε να βρεθούν και να εφαρμοστούν συνθετικές μεθοδολογίες που θα αποτρέπουν ή, αν αυτό δεν είναι δυνατό, θα περιορίζουν στο ελάχιστο τη χρήση των διαλυτών. Στο σημείο αυτό μπορεί να συμβάλλουν κατά πολύ και οι εναλλακτικοί ή πράσινοι διαλύτες στους οποίους αναφερόμαστε αμέσως παρακάτω. Πολλά προϊόντα επίσης, ιδιαίτερα όσα απευθύνονται στο μέσο καταναλωτή, θα πρέπει να επανασχεδιαστούν με στόχο τη μείωση ή και την απομάκρυνση των οργανικών διαλυτών από την τελική τους σύσταση.

Εδώ και μερικά χρόνια, με την επιρροή της Πράσινης Χημείας, η στροφή αυτή έχει αρχίσει δειλά-δειλά να πραγματοποιείται. Για παράδειγμα, στ η βιομηχανία χρωμάτων και επικαλύψεων έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο οι *υδατογενείς επικαλύψεις* που περιέχουν μικρό ποσό ή καθόλου οργανικούς διαλύτες και οι *επικαλύψεις σε μορφή πούδρας* που δεν περιέχουν διαλύτες. Το γεγονός είναι πολύ σημαντικό γιατί σε παγκόσμιο επίπεδο το 46% των οργανικών διαλυτών χρησιμοποιείται από αυτόν το βιομηχανικό τομέα. Ωστόσο, μένουν ακόμη πολλά να γίνουν όχι μόνο σε επίπεδο έρευνας και τεχνολογίας, αλλά και στο επίπεδο της πολιτικής. Ήδη η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εκδώσει οδηγία (11/3/1999) με στόχο το 2007 οι οργανικοί διαλύτες να περιοριστούν κατά 70% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Υπάρχουν αρκετά συνοδευτικά μέτρα, η εφαρμογή τους όμως έγκειται στα κράτη μέλη. Πάντως, το θέμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν σκεφτεί κανείς ότι Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής οργανικών διαλυτών: το 25% των οργανικών διαλυτών σε παγκόσμιο επίπεδο παράγεται και χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες των χωρών της.

4.4.1. Οι εναλλακτικοί ή πράσινοι διαλύτες.

Οι εναλλακτικοί ή πράσινοι διαλύτες δεν καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον ούτε συμβάλλουν στην παραγωγή τροποσφαιρικού όζοντος και επομένως δεν έχουν καμία επίπτωση στο περιβάλλον. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις η χρήση εναλλακτικών διαλυτών μπορεί να τροποποιήσει το μηχανισμό των αντιδράσεων, να βελτιώσει τις αποδόσεις και να ελαχιστοποιήσει τα απόβλητα.

Σαν εναλλακτικοί ή πράσινοι διαλύτες χρησιμοποιούνται τα υπερκρίσιμα υγρά (Supercritical Fluids) και κυρίως:

■ Το υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα,

δηλαδή διοξείδιο του άνθρακα σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 31,6°C και σε πίεση 73atm. Στις συνθήκες αυτές το διοξείδιο του άνθρακα εμφανίζει υπερκρίσιμες φυσικές ιδιότητες που σημαίνει φυσικές ιδιότητες ανάμεσα σε αυτές των υγρών και των αερίων. Το υπερκρίσιμο CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- σε διαδικασίες εκχύλισης και καθαρισμού,
- σαν αντιδραστήριο ή διαλύτης σε αντιδράσεις Friedel-Crafts, ασύμμετρης σύνθεσης και στην παραγωγή πολυμερών.
- σαν διαλύτης στην βιομηχανία βαφών και επιχρισμάτων και σε μονάδες στεγνού καθαρισμού.

■ Το υπερκρίσιμο ή υπέρθερμο νερό,

δηλαδή νερό σε υψηλές θερμοκρασίες και υπό πίεση. Αντίθετα με το κοινό νερό, μπορεί να διαλύσει και μη πολικές ουσίες. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή υφασμάτων, καλλυντικών, σε αντιδράσεις σύνθεσης, π.χ. αντιδράσεις ολιγομερισμού λιπαρών οξέων και στην κατεργασία αποβλήτων με υδρόλυση.

Επίσης πράσινοι διαλύτες είναι και οι ιονικοί διαλύτες και οι βιοδιαλύτες.

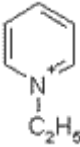
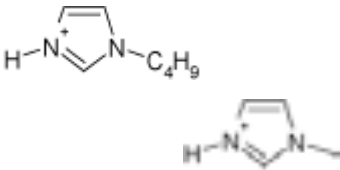
■ Οι ιονικοί διαλύτες.

Είναι οργανικά άλατα που είναι υγρά σε ή κοντά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στα άλατα αυτά το ανιόν είναι συνήθως ένα κοινό ανόργανο ανιόν, το κατιόν όμως είναι οργανικής φύσης, ογκώδες και με μικρό βαθμό συμμετρίας (βλ. πίνακα 4.3). Λόγω αυτής της ιδιαίτερης δομής τους, τα ιονικά υγρά έχουν χαμηλή ενέργεια πλέγματος και κατά συνέπεια χαμηλά σημεία τήξεως.

Τα ιονικά υγρά δεν είναι πτητικά, είναι θερμικά σταθερά, καθόλου εύφλεκτα και ανακυκλώνονται εύκολα. Είναι καλοί διαλύτες για πολλές ανόργανες και οργανικές ενώσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- ως διαλύτες στη χημική σύνθεση και την κατάλυση, π.χ. σε αντιδράσεις Diels-Alder, σε αντιδράσεις ακυλίωσης και αλκυλίωσης κατά Friedel-Craft, σε αντιδράσεις υδρογόνωσης και οξείδωσης ή ακόμη στις αντιδράσεις Heck.

Πίνακας 4.3. Παραδείγματα ανιόντων και κατιόντων σε ιονικά υγρά.

Ανιόντα: BF_4^- , PF_6^- , SbF_6^- , NO_3^- , CF_3SO_3^- , $(\text{CF}_3\text{SO}_3)_2\text{N}^-$, ArSO_3^- , CF_3CO_2^- , $\text{AlCl}_3/\text{Cl}^-$, κ.ά.	
Κατιόντα	
	
του (αλκυλο)πυριδινίου	του (αλκυλο)ιμιδαζολίου

- σε διφασικά συστήματα με οργανικό διαλύτη ή νερό στις τεχνικές εκχύλισης και διαχωρισμού,
- για τη σταθεροποίηση και την ευκολότερη ανακύκλωση καταλυτών,
- ως ηλεκτρολύτες στην ηλεκτροχημεία.

Οι σχετικές εργαστηριακές έρευνες είναι αρκετά πρόσφατες και πολλά υποσχόμενες. Προς το παρόν πάντως, τα εμπορικά διαθέσιμα ιονικά υγρά είναι ελάχιστα, χρησιμοποιούνται σπάνια σε βιομηχανικές διεργασίες, ενώ λείπουν και οι μελέτες οι σχετικές με την τοξικότητά τους.

■ Οι βιοδιαλύτες

Οι βιοδιαλύτες παράγονται από ανανεώσιμες πηγές (βιομάζα), έχουν υψηλό σημείο βρασμού, δεν είναι πτητικοί ή τοξικοί, είναι βιοαποικοδομήσιμοι και ανακυκλώνονται εύκολα. Οι πιο γνωστοί από τους βιοδιαλύτες είναι:

- οι γαλακτικοί εστέρες που παρασκευάζονται με ζύμωση σακχάρων που προέρχονται κυρίως από καλαμπόκι ή σόργο με πιο σημαντικό το γαλακτικό αιθυλεστέρα και
- οι εστέρες της σόγιας που παρασκευάζονται με μετεστεροποίηση ελαίου σόγιας με πιο σημαντικό το μεθυλεστέρα της σόγιας.

Ο γαλακτικός αιθυλεστέρας $[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOC}_2\text{H}_5]$ ως διαλύτης μπορεί να αντικαταστήσει τους χλωριωμένους υδρογονάνθρακες. Χρησιμοποιείται σε ειδικές επικαλύψεις, σε μελάνια, σε καθαριστικά, καθώς και για τον άμεσο καθαρισμό χρωμάτων και graffiti.

Ο μεθυλεστέρας της σόγιας $[\text{RCOOCH}_3]$ είναι εξαιρετικός διαλύτης για ρητίνες, πολυμερή και βαφές. Χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών από λάδια και γράσα, καθώς και για τον καθαρισμό χρωμάτων, μελανιών και πετρελαιοκηλίδων. Χρησιμοποιείται ακόμη σε πολλά καταναλωτικά προϊόντα, όπως υγρά σαπούνια για τα χέρια, λοσιόν σώματος, προϊόντα καθαρισμού για το σπίτι και κεριά αυτοκινήτων.

Τα βιοκαύσιμα και οι βιοδιαλύτες που αναφέραμε δείχνουν το πόσο σημαντική μπορεί να είναι η χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και υλικών.

Γι' αυτό και ένας από τους στόχους της Πράσινης Χημείας είναι: «Οι πρώτες ύλες πρέπει να είναι ανανεώσιμες όπου αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό».

(Αρχές της Πράσινης Χημείας, dr. P. Anastas et al.)

4.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

4.5.1. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανία

Σαν μέτρα περιορισμού σχηματισμού *οξειδίων του αζώτου* (αναφέρονται και σαν πρωτογενή μέτρα) μπορούμε να αναφέρουμε:

α) Τη χρήση καυσίμων με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άζωτο.

β) Τις **τεχνικές ελέγχου της καύσεως**, όπως:

- η τροποποίηση των συνθηκών καύσεως, π.χ. μείωση της συγκεντρώσεως του οξυγόνου, της θερμοκρασίας της φλόγας ή του χρόνου παραμονής των αερίων,
- η ανακυκλοφορία των καυσαερίων.
- η χρήση ειδικών καυστήρων/κλιβάνων που εξασφαλίζουν χαμηλή εκπομπή NO_x χρησιμοποιώντας την τεχνική της διαβαθμισμένης καύσεως.

Οι τεχνικές ελέγχου της καύσεως έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και θεωρούνται ενεργειακά αποδοτικές. Το ποσοστό όμως μετατροπής των NO_x είναι χαμηλό και στην καλύτερη περίπτωση δεν ξεπερνάει το 30 με 50%. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις σχηματίζεται ένα σημ. αντικό ποσό υποξειδίου του αζώτου (N₂O).

Τα αντίστοιχα μέτρα για το *διοξείδιο του θείου* περιλαμβάνουν:

α) Την αποθείωση του καυσίμου ή τη χρήση καυσίμου με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο.

β) Την τροποποίηση των συνθηκών καύσεως.

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι μείωσης των εκπομπών SO₂ με τροποποίηση των συνθηκών καύσεως είναι η τεχνική καύσεως σε ρευστοποιημένη ή κινούμενη κλίνη (fluidized bed combustion) και η προσθήκη απορροφητικού μέσου σε συμβατικούς καυστήρες. Ως απορροφητικά μέσα για το SO₂ χρησιμοποιούνται ο ασβεστόλιθος (CaCO₃) και ο δολομίτης (CaCO₃.MgCO₃).

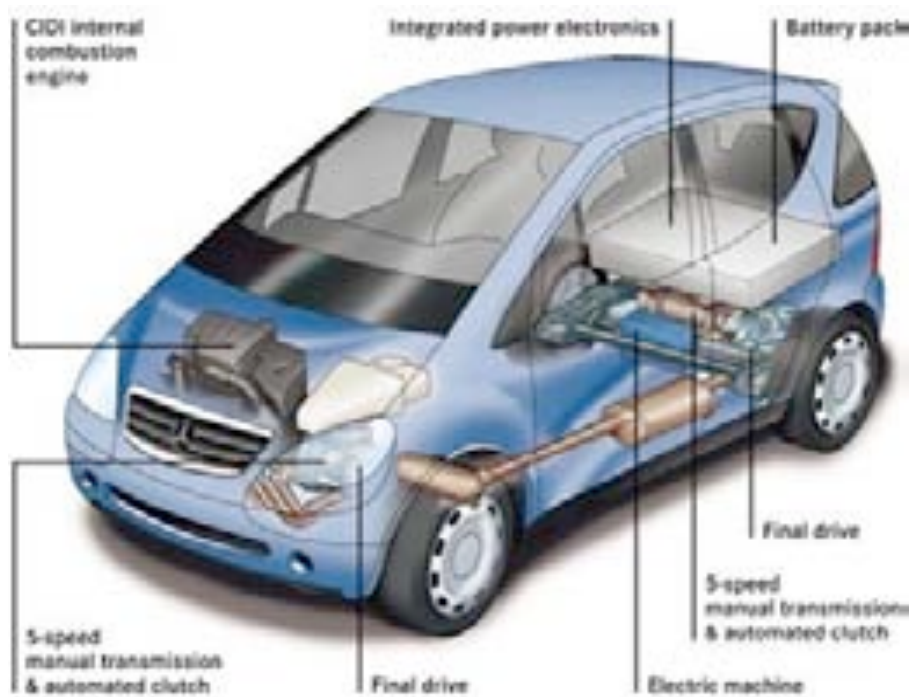
4.5.2. Μέσα μεταφοράς

Η κατασκευή και η κυκλοφορία *λιγότερο ρυπογόνων οχημάτων* μπορεί να συμβάλλει επίσης στη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Όπως ήδη αναφέραμε (βλ. &4.2.3), σήμερα υπάρχουν και κυκλοφορούν οχήματα που η τεχνολογία τους επιτρέπει τη χρήση βιοκαυσίμων. Η ιδανική λύση βέβαια θα ήταν τα οχήματα με στοιχεία καυσίμου που η μόνη «εκπομπή» τους είναι το νερό. Μάλιστα, σε κάποιες πόλεις των Η.Π.Α. και της Ευρώπης κυκλοφορούν πειραματικά ορισμένα λεωφορεία που λειτουργούν με κυψέλες καυσίμου. Η ευρεία όμως χρήση παρόμοιων οχημάτων στο άμεσο μέλλον δεν θεωρείται εφικτή λόγω των προβλημάτων που υπάρχουν όσον αφορά στην παραγωγή, την μεταφορά και την αποθήκευση του υδρογόνου. Έτσι σήμερα τα υβριδικά οχήματα αποτελούν την πιο ρεαλιστική λύση.

Τα **υβριδικά οχήματα** εκτός από την μηχανή εσωτερικής καύσης και το ντεπόζιτο (reservoir) βενζίνης που διαθέτουν τα συμβατικά αυτοκίνητα, είναι εφοδιασμένα και με έναν ηλεκτρικό κινητήρα και μια μπαταρία (βλ. εικόνα 4.4). Η μπαταρία προμηθεύει ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα και επαναφορτίζεται από αυτόν. Εάν χρειάζεται, μπορεί να επαναφορτιστεί και μέσω του βενζινοκινητήρα.

Υπάρχουν δύο τύποι υβριδικών οχημάτων: αυτά που η λειτουργία τους στηρίζεται κυρίως στο βενζινοκινητήρα με τον ηλεκτρικό κινητήρα να προμηθεύει επιπλέον ισχύ όταν χρειάζεται (mild hybrids) και αυτά όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί ταυτόχρονα να καταναλώνει και να παράγει ενέργεια με αποτέλεσμα οι δύο κινητήρες να μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα (full hybrids).

Όπως και να έχει, στα υβριδικά οχήματα ο βενζινοκινητήρας είναι μικρότερος και πιο εξελιγμένος τεχνολογικά από ότι στα συμβατικά οχήματα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη του ηλεκτρικού κινητήρα έχει σαν αποτέλεσμα τα υβριδικά οχήματα να έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και λιγότερες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων.



Εικόνα 4.4. Υβριδικό αυτοκίνητο της Mercedes-Benz.
Πηγή: auto.howstuffworks.com/hybrid-car.htm

4.6. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΠΑΕΡΙΩΝ

4.6.1. Μέσα μεταφοράς

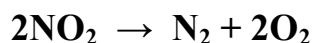
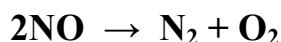
Τα σύγχρονα βενζινοκίνητα οχήματα είναι εφοδιασμένα με έναν **τριοδικό καταλύτη** (βλ. εικόνα 4.5). Ο τριοδικός καταλύτης είναι συνδυασμός πλατίνας, ροδίου και παλλαδίου πάνω σε ένα κεραμικό υπόστρωμα. Βρίσκεται κλεισμένος σε ένα ατσάλινο κουτί που προσαρμόζεται στο σύστημα της εξάτμισης.



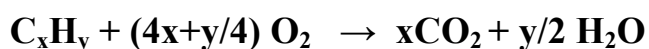
Εικόνα 4.5. Τριοδικός καταλύτης.

Πηγή: www.uyseg.org/catalysis/catalytic/cat1.htm

Στην πραγματικότητα ο τριοδικός καταλύτης αποτελείται από δύο επιμέρους καταλύτες. Στον πρώτο από αυτούς (πλατίνα και ρόδιο) γίνεται αναγωγή των οξειδίων του αζώτου σε στοιχειακό άζωτο:



Στο δεύτερο (πλατίνα και παλλάδιο) γίνεται οξείδωση του μονοξειδίου του άνθρακα προς διοξείδιο του άνθρακα και των υδρογονανθράκων προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα:



Ο τριοδικός καταλύτης λειτουργεί σε σύστημα κλειστού βρόγχου που περιλαμβάνει και έναν αισθητήρα οξυγόνου. Ο αισθητήρας αυτός μέσω του

συστήματος ελέγχου του οχήματος, συμβάλλει στη ρύθμιση του λόγου αέρα / καυσίμου στη μηχανή έτσι ώστε να υπάρχει αρκετό οξυγόνο για τις αντιδράσεις οξειδώσεως στον καταλύτη.

Εκτός από τον τριοδικό καταλύτη, στα σύγχρονα οχήματα υπάρχει και το **δοχείο άνθρακα**. Το δοχείο αυτό είναι μία κλίνη που συλλέγει τις εκπομπές ατμών των VOCs από τη ζεστή μηχανή όταν αυτή σταματήσει να λειτουργεί. Μόλις το αυτοκίνητο ξαναμπει σε λειτουργία το μίγμα διοχετεύεται πίσω στους κυλίνδρους.

Αντίστοιχα συστήματα υπάρχουν και για τα οχήματα που κινούνται με πετρέλαιο ντίζελ. Στην περίπτωση όμως αυτή, ο καταλύτης δεν ανάγει τα οξείδια του αζώτου, αντίθετα οξειδώνει περαιτέρω το μονοξείδιο του αζώτου προς διοξείδιο. Γι' αυτό στην εξάτμισή τους υπάρχει και ένα επιπλέον σύστημα που ανάγει τα οξείδια του αζώτου προς στοιχειακό άζωτο. Τέτοια συστήματα είναι οι παγίδες NO_x (NO_x traps) και τα συστήματα εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής.

Η συμβολή των καταλυτικών οχημάτων στη μείωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.4. Εκπομπές καταλυτικών και μη καταλυτικών αυτοκινήτων.

Οχήματα με βενζινοκινητήρα 1,8 L				
Εκπομπές (g / km)				
	CO	HC	NO _x	
Μη καταλυτικά	5,99	1,67	1,04	
Καταλυτικά	0,61	0,07	0.04	
Οχήματα με κινητήρα ντίζελ 1,9 L				
Εκπομπές εξάτμισης				
	CO	HC	NO _x	P.M.
Μη καταλυτικά	1,20	0,38	0,54	0,07
Καταλυτικά	0,17	0,05	0,42	0,04

Πηγή: www.uyseg.org/catalysis/catalytic/cat3.htm

4.6.2. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανία

4.6.2.1. Τα αιωρούμενα σωματίδια

Συλλέγονται με ειδικά φίλτρα, υφασμάτινα ή ηλεκτροστατικά, με πολύ καλές αποδόσεις. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συλλογή της τέφρας, δηλαδή του άκαυστου υπολείμματος των συμβατικών καυσίμων. Η τέφρα αυτή μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί μόνη της ή σε μίγμα με τσιμέντο για την παρασκευή τεφροκονίας, που είναι ένα υλικό με ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του τσιμέντου.

4.6.2.2. Τα οξείδια του αζώτου

Δύο είναι οι βασικές διεργασίες απομάκρυνσης των οξειδίων του αζώτου από τα βιομηχανικά καυσαέρια:

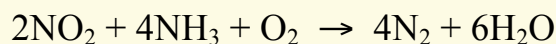
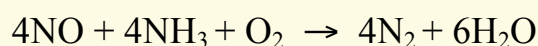
- η εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction, SCR)
- η εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή (Selective Non Catalytic Reduction, SNCR).

Στην εκλεκτική καταλυτική αναγωγή αρχικά η θερμοκρασία του ρεύματος των καυσαερίων ρυθμίζεται στους 350 με 400°C. Στην συνέχεια τα καυσαέρια κατευθύνονται στην ειδική μονάδα όπου εκχύεται αμμωνία (NH_3) παρουσία καταλύτη. Στις συνθήκες αυτές τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με την αμμωνία με τελικά προϊόντα το άζωτο και το νερό (βλ. σχήμα 4.1)

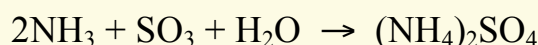
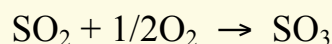
Σαν καταλύτης συνήθως χρησιμοποιείται πεντοξείδιο του βαναδίου (V_2O_5) ή τριοξείδιο του βολφραμίου (WO_3) σε υπόστρωμα διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2). Ένα μειονέκτημα του καταλύτη είναι ότι οξειδώνει ταυτόχρονα και το SO_2 προς SO_3 . Έτσι μπορεί να σχηματισθεί παράλληλα και θεικό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ που με τον καιρό διαβρώνει τη μονάδα SCR και δηλητηριάζει τον καταλύτη.

Σχήμα 4.1. Απλοποιημένες αντιδράσεις της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής

Η χημεία της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής:



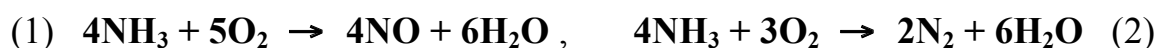
Πλάγιες αντιδράσεις:



Για το λόγο αυτό, η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο καλό είναι να μην ξεπερνάει το 0,75%-wt. Για γραμμομοριακούς λόγους NH_3/NO_x από 0,8/1 έως 1,2/1 η απόδοση της εκλεκτικής καταλυτικής αναγωγής μπορεί να φτάσει μέχρι 80-90%.

Στην εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή η αμμωνία ανάγει τα NO_x σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 900°C χωρίς την παρουσία καταλύτη. Στην περίπτωση αυτή η αμμωνία ψεκάζεται στην περιοχή του καυστήρα/κλιβάνου με τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες και χρειάζεται επιπλέον οξυγόνο. Σαν διεργασία είναι λειτουργικά απλή, έχει όμως αρκετά μειονεκτήματα.

Ένα βασικό μειονέκτημα, όπως διαπιστώθηκε στην πράξη, είναι η ευαισθησία της απέναντι στην θερμοκρασία. Η εκλεκτική μη καταλυτική αναγωγή αποδίδει ουσιαστικά σε θερμοκρασίες από 850 έως 1100°C. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες η αμμωνία αντιδρά με το οξυγόνο δίνοντας μονοξείδιο του αζώτου (1), ενώ σε μικρότερες αποσυντίθεται με αποτέλεσμα τη μεγάλη κατανάλωση του αντιδραστηρίου (2):



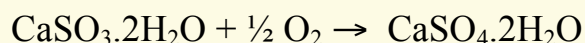
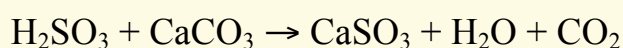
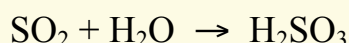
Άλλα μειονεκτήματα της διεργασίας αυτής είναι οι διαφυγές NH_3 στην ατμόσφαιρα και ο σχηματισμός, τουλάχιστον κάτω από ορισμένες συνθήκες εφαρμογών, παραπροϊόντων όπως το N_2O .

Στοιχίζει φθηνότερα από την εκλεκτική καταλυτική οξείδωση, σαν μέθοδος όμως είναι γενικά λιγότερο αποτελεσματική. Για γραμμομοριακούς λόγους NH_3/NO_x από 1/1 έως 2/1 η απόδοση της εκλεκτικής μη καταλυτικής αναγωγής κυμαίνεται από 40 μέχρι 60%.

4.6.2.3. Το διοξείδιο του θείου

Ανάλογα με τη φάση στην οποία γίνεται η βασική αντίδραση, οι διεργασίες απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου από τα καυσαέρια διακρίνονται σε υγρές και ξηρές. Υπάρχουν πολλές διεργασίες απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου, εδώ όμως θα αναφέρουμε μόνο τις πιο σημαντικές

Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται οι **υγρές διεργασίες καθαρισμού** (ή έκπλυσης) με ασβεστόλιθο ή άσβεστο. Στις διεργασίες αυτές το διοξείδιο του θείου απορροφάται από αραιή λάσπη ασβεστόλιθου (CaCO_3) ή σβησμένου ασβέστη $[\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})}]$ και εξουδετερώνεται σε θειώδες ασβέστιο (CaSO_3). Στη συνέχεια το θειώδες ασβέστιο οξειδώνεται μερικώς και σχηματίζεται ένυδρο θεικό ασβέστιο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), δηλαδή γύψος:



Οι διεργασίες αυτές μπορεί να είναι απλής διαδρομής ή με ανάκτηση των προϊόντων. Σε ορισμένες μονάδες τόσο το θειώδες ασβέστιο όσο και ο γύψος θεωρούνται απόβλητα και αφού αφυδατωθούν αποτίθενται σε ειδική δεξαμενή ή σε χωματερή. Υπάρχουν όμως και μονάδες που προβλέπουν την οξείδωση όλης της ποσότητας του θειώδους ασβεστίου σε γύψο για τον οποίο υπάρχει εμπορική εκμετάλλευση. Το γεγονός αυτό όμως δεν αποτελεί κατ’

ανάγκη περιβαλλοντικό πλεονέκτημα. Στη Γερμανία η αγορά του γύψου έχει ήδη κορεστεί, ενώ στη Μ. Βρετανία η κατάσταση είναι οριακή.

Ο υγρός καθαρισμός με ασβεστόλιθο προτιμάται διότι έχει πολύ καλή απόδοση (~90%) και η πρώτη ύλη είναι ένα φθινό και άφθονο προϊόν. Η άσβεστος είναι σχετικά πιο ακριβή, αλλά στην περίπτωση αυτή η απόδοση μπορεί να φτάσει το 95%.

Μία άλλη υγρή διεργασία είναι το διπλό αλκαλικό σύστημα που αναπτύχθηκε για να αντιμετωπιστούν προβλήματα που παρουσιάστηκαν στον καθαρισμό με ασβεστόλιθο (ή άσβεστο), όπως επικαθήσεις στον πύργο καθαρισμού, φράξιμο του εξοπλισμού και διάβρωση. Στη διεργασία αυτή το διοξείδιο του θείου απορροφάται από ένα διάλυμα που περιέχει θειώδες νάτριο (Na_2SO_3) και υδροξείδιο του νατρίου (NaOH). Στην συνέχεια προστίθενται ασβεστόλιθος ή άσβεστος και ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3) ώστε να καταβυθιστούν τα θειώδη και θειικά ιόντα και να αναγεννηθεί το υδροξείδιο του νατρίου. Ένα βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η λάσπη των αποβλήτων περιέχει και ευδιάλυτα άλατα του νατρίου που μπορεί να ρυπάνουν τους υδροφόρους ορίζοντες.

Οι **ξηρές διεργασίες** αναπτύχθηκαν σχετικά πρόσφατα και ως αντιδραστήρια χρησιμοποιούν κυρίως ασβέστη ή ασβεστόλιθο και σε μικρότερο βαθμό ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3). Στις διεργασίες αυτές το SO_2 απορροφάται από το κονιοποιημένο αντιδραστήριο που εισάγεται μέσα στα καυσαέρια και τα στερεά σωματίδια συλλέγονται σε σακόφιλτρα ή ηλεκτροστατικά φίλτρα. Γενικά, οι ξηρές διεργασίες είναι λιγότερο ενεργειοβόρες από τις υγρές διεργασίες, έχουν μικρότερο κόστος κεφαλαίου και χαμηλές απαιτήσεις σε συντήρηση.

Σήμερα πάντως το πρόβλημα των μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων στις υγρές διεργασίες έχει ξεπεραστεί σε σημαντικό βαθμό με τη χρήση των εναλλακτών θερμότητας. Επιπλέον στις ξηρές διεργασίες δεν γίνεται ανάκτηση του θείου, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. χρήση του ανθρακικού

νατρίου) υπάρχει το μειονέκτημα της διάθεσης των αποβλήτων (στράγγισμα των ευδιάλυτων αλάτων νατρίου που παράγονται).

4.6.2.4. Οι οργανικές πτητικές ενώσεις

Η πιο διαδεδομένη διεργασία απομάκρυνσης οργανικών ενώσεων είναι η καύση των απαερίων σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 750°C ή σε χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσία καταλύτη. Σαν καταλύτες χρησιμοποιούνται μέταλλα της ομάδας της πλατίνας. Μπορεί να κατεργαστεί μεγάλους όγκους απαερίων, έχει πολύ μεγάλες αποδόσεις, έχει όμως και αρκετά από τα μειονεκτήματα των καύσεων. Επιπλέον, όταν υπάρχουν αλογονοπαράγωγα, τα απαέρια χρειάζονται επιπλέον κατεργασία.

Μια δεύτερη διεργασία είναι η βιολογική αποικοδόμηση κατά την οποία τα απαέρια με τη βοήθεια μικροοργανισμών οξειδώνονται προς διοξείδιο του άνθρακα, νερό και άλατα. Είναι μια διεργασία φιλική για τον περιβάλλον με περιορισμένες ωστόσο δυνατότητες. Για να εφαρμοστεί πρέπει οι πτητικές οργανικές ενώσεις που περιέχουν τα απαέρια να είναι έστω και ελάχιστα διαλυτές στο νερό αλλά και βιοαποικοδομήσιμες.

Πιο ενδιαφέρουσες είναι οι **διεργασίες ανακτήσεως** που επιτρέπουν την ανακύκλωση των πτητικών οργανικών ενώσεων. Οι διεργασίες αυτές είναι:

■ Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα ή άλλα προσροφητικά μέσα, όπως ζεόλιθοι, γέλη πυριτίου, κ.ά. Είναι μια αρκετά διαδεδομένη μέθοδος απομάκρυνσης χαμηλών συγκεντρώσεων αερίων ή ατμών από τα απαέρια. Η ανάκτηση των διαλυτών γίνεται με τεχνικές εκρόφησης (θέρμανση του προσροφητικού μέσου, απογύμνωση με ατμό, κ.λ.π.) και συμπύκνωση. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που η ανάκτηση των οργανικών ενώσεων (π.χ. VOCs με σχετικά υψηλό σημείο βρασμού) μπορεί να έχει μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις. Γενικά έχει πολύ ικανοποιητική απόδοση ιδιαίτερα όταν το ρεύμα των απαερίων περιέχει σχετικά απλά μίγματα οργανικών ενώσεων.

- Η απορρόφηση σε νερό ή μη πτητικούς υδρογονάνθρακες και
- Η συμπύκνωση ιδιαίτερα όταν πρόκειται για οργανικές ενώσεις με σχετικά υψηλά σημεία βρασμού. Τόσο η απορρόφηση όσο και η συμπύκνωση μπορούν να εφαρμοστούν και για τον καθαρισμό αερίων με μεγάλες συγκεντρώσεις VOCs.

Η ανάκτηση επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των διαλυτών. Πολλές φορές όμως οι διαλύτες δεν είναι πολύ καθαροί. Μπορούν ωστόσο και πάλι να χρησιμοποιηθούν, π.χ. για την παρασκευή προϊόντων μικρότερης αξίας ή ως καύσιμα για τις διεργασίες και τη θέρμανση των χώρων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται σε φυσικές και ανθρώπινες δραστηριότητες και συνεπάγεται προβλήματα στην ανάπτυξη και τη διατήρηση στη ζωή φυτών και ζώων. Αυτό συνεπάγεται την περαιτέρω υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την απώλεια της βιοποικιλότητας.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να αντιμετωπιστεί με την υιοθέτηση κατεργασιών περιορισμού ή αδρανοποίησης των ρύπων, καθώς και με πρακτικές παραγωγής αγαθών οι οποίες βασίζονται στην αειφόρο ανάπτυξη όπως:

- ▶ Η προοδευτική μείωση της χρήσης καυσίμων καθώς και η επιλογή εκείνων που απελευθερώνουν τους λιγότερους αέριους ρύπους, μέχρι την επικράτηση των Ανανεωσίμων Πηγών Ενέργειας
- ▶ Ο σχεδιασμός τεχνολογίας και συστημάτων ενεργειακής μετατροπής, έτσι ώστε να χρησιμοποιούν με πιο αποδοτικό τρόπο την ενέργεια
- ▶ Η ανάπτυξη τεχνολογιών, οι οποίες θα διασφαλίζουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν θα υπερβαίνουν την ενεργειακή φέρουσα ικανότητα του πλανήτη, δεδομένου ότι υπάρχουν τεχνικά όρια ακόμη και στην απόσπαση ενέργειας από τις φυσικές ενεργειακές ροές,
- ▶ Η συνεκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους των διάφορων ενεργειακών επιλογών μαζί με τα καθαρά οικονομικά κόστη,
- ▶ Η παρακολούθηση των εκπομπών άνθρακα της κάθε ενεργειακής επιλογής, καθώς και άλλων αερίων, μέσα από την πλήρη *ανάλυση του ενεργειακού κύκλου ζωής*.

Οι περισσότερες ενεργειακές πηγές προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Τα ορυκτά καύσιμα είναι απλά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, παγιδευμένη στο υπέδαφος για χιλιάδες χρόνια με τη μορφή γαιάνθρακα, πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Παρόλα αυτά όμως, μόλις τα σχετικά αποθέματα των πηγών αυτών εξαντληθούν, δεν αντικαθίστανται και χάνονται για πάντα.

Αντιθέτως, οι περισσότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας βασίζονται σε συνεχείς ηλιακές εισροές, οι οποίες δημιουργούν ανεξάντλητες φυσικές ενεργειακές ροές παρέχοντας άμεση θέρμανση, δημιουργώντας ανέμους ή κύματα, υδάτινες ροές σε ποταμούς και λίμνες ή , αποθηκευόμενες βραχυπρόθεσμα σε φυτικούς ιστούς, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο με τη μορφή της *βιομάζας*.

«... Θα έρθει καιρός που ο καθαρός αέρας θα είναι είδος πολυτελείας. Η Χημεία της Φύσης περιμένει να της δώσουμε την ευκαιρία να αποκαταστήσει τις ισορροπίες».

J. Priestley, ο χημικός που ανακάλυψε το οξυγόνο, 1733 - 1804

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ – Τρέχουσα κατάσταση

Το 1987 πολλά κράτη προσυπόγραψαν το πρωτόκολλο του Montreal που στοχεύει στην αντιμετώπιση της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος. Το πρωτόκολλο αυτό προέβλεπε την κατάργηση και την αντικατάσταση των ουσιών που καταστρέφουν το όζον ή τον περιορισμό της χρήσης τους εκεί που δεν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις. «Έθετε» μάλιστα και χρονικά περιθώρια, π.χ. για την κατάργηση των χλωροφθορανθράκων από τις αναπτυγμένες χώρες την 1/1/1996 και από τις αναπτυσσόμενες την 1/1/2010.

Όσον αφορά στις αναπτυγμένες χώρες, οι κατευθύνσεις του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ τηρήθηκαν Έτσι σήμερα σε αυτές τις χώρες:

- έχει περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό η παραγωγή και η χρήση του μεθυλοβρωμιδίου, του 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο και του τετραχλωράνθρακα,
- τα βρωμοπαράγωγα (halons) δεν χρησιμοποιούνται πια σε προϊόντα ευρείας χρήσης (αποσμητικά, διάφορα σπρέυ)
- οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) έχουν αντικατασταθεί σχεδόν ολοκληρωτικά από τους υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και τους υδρογονοφθοράνθρακες (HFCs). Από αυτούς οι υδρογονοχλωροφθοράνθρακες αποτελούν μεταβατικές ενώσεις αντικατάστασης γιατί καταστρέφουν επίσης το όζον. Καθώς όμως είναι λιγότερο σταθερές ενώσεις από τους χλωροφθοράνθρακες καταστρέφονται μερικώς στην τροπόσφαιρα και η συμβολή τους στο φαινόμενο είναι κατά πολύ μικρότερη. Η χρήση των υδρογονοχλωροφθορανθράκων προβλέπεται να τερματιστεί το 2020.

Παρ' όλα αυτά, επειδή οι ουσίες που καταστρέφουν το όζον έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, παρατηρήσιμη ανάκαμψη της στιβάδας του όζοντος δεν αναμένεται παρά μόνο μετά το 2020. Η πλήρης ανάκαμψη τοποθετείται μετά το 2050, αν και προβλέπεται ότι η καταστροφή του όζοντος στις πολικές περιοχές θα συνεχίζεται για αρκετές δεκαετίες.

Τεκτονικές Πλάκες



Πηγή: www.de.sch.gr

Ο στέρεος φλοιός του πλανήτη μας "κολυμπάει" πάνω στο ρευστοποιημένο μανδύα και είναι χωρισμένος σε μεγάλες περιοχές, τις τεκτονικές πλάκες. Αυτές οι πλάκες κινούνται και αλλού συγκρούονται μεταξύ τους δημιουργώντας πτυχώσεις, ενώ σε άλλα σημεία απομακρύνονται και λιωμένο μάγμα αναβλύζει και καλύπτει το κενό που αφήνουν. Οι ανακατατάξεις αυτές είναι που ανακύκλωσαν αρκετά αέρια στην αρχή της δημιουργίας και επέτρεψαν το σχηματισμό ατμόσφαιρας και υδρόσφαιρας. Στην τριβή μεταξύ των τεκτονικών πλακών οφείλονται οι σεισμοί.

Η κίνηση των τεκτονικών πλακών μαζί με τις θερμοκρασιακές διαφορές του κλίματος, κάνουν το χάρτη της Γης να αλλάζει συνεχώς. Έτσι ο χάρτης ήταν τελείως διαφορετικός πριν από 720 εκατομμύρια χρόνια ή πριν από 200 εκατομμύρια χρόνια και θα είναι τελείως διαφορετικός μετά από άλλα 250 εκατομμύρια χρόνια.

Μεγάλα Χημικά Ατυχήματα

Δύο χημικά ατυχήματα που επιβάρυναν σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση και είχαν γενικότερα σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία ήταν:

- Το ατύχημα στο εργοστάσιο Φυτοφαρμάκων – Ζιζανιοκτόνων της Chimiche Meda Societa Azionaria στο **Seveso** (Ιταλία). Στις 10 Ιουλίου του 1976 η



πόλη και η γύρω περιοχή εκκενώθηκαν υποχρεωτικά διότι μια βλάβη στο σύστημα ψύξης είχε σαν αποτέλεσμα την έκθεση 37.000 ανθρώπων στη διοξίνη και τον θάνατο πολλών ζώων. Επίσης, 80.000 ζώα θανατώθηκαν

προληπτικά για να αποτραπεί η μεταφορά τοξικών ουσιών μέσω της τροφικής αλυσίδας.

- Το πολύνεκρο ατύχημα στις 3 Δεκεμβρίου 1984, στο εργοστάσιο χημικών της Union Carbide στην πόλη **Bhopal** της Ινδίας, που προκάλεσε το θάνατο τριών χιλιάδων ανθρώπων μέσα σε τρεις μέρες. Συνολικά 20.000 άτομα έχουν χάσει τη ζωή τους μέχρι σήμερα, ενώ περισσότεροι από 120.000 υποφέρουν από ασθένειες, που σχετίζονται με την έκθεσή τους στη συγκεκριμένη ουσία. Ο αριθμός συνεχίζει καθημερινά να **αυξάνει**, καθώς δεν έγιναν ποτέ προσπάθειες απορρύπανσης της περιοχής, ενώ παραμένουν μέχρι σήμερα οι υπερβολικές συγκεντρώσεις επικίνδυνων χημικών στο έδαφος, τα νερά και τον αέρα της περιοχής.

Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε και ένα ατύχημα που έγινε στην πόλη μας το Φεβρουάριο του 2004. Η Φωτιά που εκδηλώθηκε στο εγκαταλελειμμένο εργοστάσιο της **ΔΙΑΝΑ** στη Ν. Ευκαρπία σκέπασε τον ουρανό της Θεσσαλονίκης με τοξικό νέφος. Σύμφωνα με την Greenpeace, ήταν ευτύχημα που η πυρκαγιά εκδηλώθηκε εκείνη τη χρονική περίοδο και όχι λίγους μήνες

νωρίτερα, όταν στο χώρο βρίσκονταν ακόμη εκατοντάδες τόνοι εξαιρετικά επικίνδυνων ουσιών.

Ατμοσφαιρική ρύπανση και μνημεία

Ο Παρθενώνας χτίστηκε την εποχή του Περικλή με τη βοήθεια άξιων αρχιτεκτόνων , όπως του Ικτίνου και του Καλλικράτη και του αξεπέραστου γλύπτη Φειδία, που δημιούργησαν το σπουδαιότερο μνημείο της αρχαίας εποχής, την Ακρόπολη των Αθηνών, ένα καλλιτεχνικό σύνολο που προξένησε το θαυμασμό των αρχαίων. Ο Παρθενώνας, που τελείωσε το 438 π.Χ. έχει υποστεί σοβαρές ζημιές από την ατμοσφαιρική ρύπανση της πόλης των Αθηνών και γίνονται εργασίες καθαρισμού του με χρήση διαφόρων τεχνικών, κυρίως λείζερ.



(φωτό πριν και μετά - Σ. Μαυρομάτης ©)

Καθαρισμός τμημάτων της δυτικής ζωφόρου του Παρθενώνα με τη χρήση λείζερ.

Το Taj Mahal είναι ένα αριστούργημα της Ινδικής αρχιτεκτονικής του 17^{ου} αιώνα. Το μνημείο αυτό έχει καταστραφεί σημαντικά από τις ακραίες κλιματικές συνθήκες (μουσώνες) και την ατμοσφαιρική ρύπανση που οφείλεται στο κυκλοφοριακό πρόβλημα και τα εργοστάσια της περιοχής. Η UNESCO που το έχει ανακηρύξει μνημείο της Ανθρωπότητας και το έχει συμπεριλάβει στη λίστα της Παγκόσμιας Κληρονομιάς ('World Heritage'), έχει ξεκινήσει εκστρατεία για την αποκατάστασή του.



Πηγή: www.indianchild.com

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Clark J., Macquarrie D., “Handbook of Green Chemistry and Technology”, Blackwell Science, 2002.
2. Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., “Χημεία περιβάλλοντος”, University Studio Press, 1998.
3. Αλμπάνης Τ., “Ρύπανση και Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος” Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1999.
4. Γεντεκάκης Γ., “Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες”, Εκδόσεις Τζιόλα, 1999.
5. Cooper C. D., Alley F. C., “Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης: Σχεδιασμός Αντιρρυπαντικής Τεχνολογίας”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
6. “Volatile Organic Compounds in the Atmosphere”, Editors: Hester R. E., Harrison R. M., The Royal Society of Chemistry, 1995.
7. “Fine Particulate Pollution: A Report of the United Nations Economic Commission for Europe”, Pergamon Press, 1979.
8. Gary W. VanLoon, Stephen J. Duffy, “Environmental Chemistry-a global perspective”, Oxford University Press, 2000.
9. Colin Baird, “Environmental Chemistry”, W.H. Freeman and Company New York, 2nd edition, 1999.
10. Richard P. Wayne, “Chemistry of Atmospheres”, Oxford University Press, 3rd edition, 2000.
11. “Fundamentals Online Textbook”
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/contents.html>
12. “The Iowa department of Natural Resources”,
<http://www.iowadnr.com/index.html>
13. “EduGreen”, <http://edugreen.teri.res.in>
14. “Lawrence Berkeley National Laboratory’s ELSI Project”,
<http://www.lbl.gov/Education/ELSI/ELSI.html>
15. “Yale University”, <http://www.yale.edu>

16. “Clean Air Strategic Alliance (CASA)”,
<http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C09/C09Links/www.casahome.org/text.htm>
17. Lyndon State College Meteorology, “Chapter 17-Air pollution”,
<http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter17/index.html>
18. “Department of Atmospheric and Oceanic Sciences”,
<http://www.atmos.ucla.edu/AS2/as2.html>
19. Thalys-“Εκπαίδευση μέσω του INTERNET”
<http://www.thalys.gr/indexgr.htm>
20. “The National Center for Atmospheric Research and the UCAR office of Programs”, <http://www.ucar.edu>
21. “Fuel Economy”, <http://www.fueleconomy.gov>
22. “ExttoxNet-The extension Toxicology Network”,
<http://exttoxnet.orst.edu/ghindex.html>
23. “Αυτοκίνηση”, <http://www.autokinisi.gr/index.html>
24. “MSN Encarta”, <http://encarta.msn.com>
25. “Daily Times”,
http://www.dailytimes.com.pk/default.asp?page=story_20-12-2004_pg6_7
26. “SAE-Off highway Engineering Online”,
<http://www.sae.org/ohmag/catalysts/index.htm>
27. “The Ozone Hole”, <http://www.theozonehole.com>
28. “Deactivation Correlations of Pd/Rh Three-way Catalysts Designed for Euro IV Emission Limits”, <http://herkules.oulu.fi/isbn9514269543/html/index.html>
29. “Physics 4u-H Φυσική στο Δίκτυο”, <http://www.physics4u.gr>
30. “Environmental History Timeline”, <http://www.radford.edu/~wkovarik/envhist/>
31. “RAPIDC-Regional Air Pollution in Developing Countries”,
<http://www.york.ac.uk/inst/sei/rapid2/rapidc.html>
32. “Stratospheric Ozone-Monitoring and Research in NOAA”,
<http://www.ozonelayer.noaa.gov/index.htm>

33. "SPIN.GR", <http://www.spin.gr/spin/story.jsp?id=206>
34. "University of Cambridge-The Ozone Hole Tour",
<http://www.atm.ch.cam.ac.uk/tour/index.html>
35. "The website of the American Chemical Society",
<http://www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/home.html>
36. "Feather River-Air Quality Management District", <http://www.fraqmd.org/>
37. "ΕΛΙΝΟΙΑ-Ελληνική Εταιρεία Πετρελαίων", <http://www.elin.gr>
38. "Quality Net", <http://www.qualitynet.gr/>
39. "Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς",
http://kpe-kastor.kas.sch.gr/gr_index.htm
40. "Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης", <http://www.ecorec.gr/Βιομάζα>
41. "in.gr health",
<http://health.in.gr/environ/Article.asp?ArticleId=18439&CurrentTopId=18436&IssuTitle=%D4%EF+%D0%E5%F1%E9%E2%DC%EB%EB%EF%ED+%EC%E1%F2>
42. "2^ο TEE Ζωγραφου",
<http://2tee-zograf.att.sch.gr/ergas1/pol.htm#ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ%20ΠΥΠΙΑΝΣΗ>
43. "Τα Νέα-Online",
http://ta-nea.dolnet.gr/print_article.php?e=A&f=17968&m=N29&aa=1
44. "Υπουργείο Περιβαλλοντικής Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων",
<http://www.minenv.gr/>
45. "TUV Hellas", <http://www.tuvhellas.gr/tuvarticles/environment.pdf>
46. APNEE-TU: Δίκτυο έγκαιρης πληροφόρησης για την ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη, <http://www.apnee.gr/apnee-tu/servlet/apnee-tu/template/Index.vm>
47. "Climate Change: Science and Technology",
http://www.spea.indiana.edu/Richards/Science_Technology/main.htm
48. Μαρούλης Α.Ι., Χατζηκωνσταντίνου-Μαρούλη Κ., Επταμηνιτάκης Θ., Θεοδώρου Δ., Ντρέλιας Π., "Χημεία και Καθημερινή Ζωή. Ενέργεια. Η Πράσινη Προσέγγιση", http://www.eex.gr/static2/prasini_xhmeia/anir/maroulis1.pdf

49. National Renewable Energy Laboratory, “Clean Energy Basics”,
http://www.nrel.gov/clean_energy/
50. “Sustainable Energy Systems”,
http://europa.eu.int/comm/research/energy/nr/article_1074_en.htm
51. U.S Department of Energy “Alternative Fuels Data Center”,
<http://www.eere.energy.gov/afdc/>
52. Wald M.L, “Ερωτηματικά για μια οικονομία του υδρογόνου”, Scientific American, 2004, 6, 78-86.
53. “Greener Industry”, <http://www.uyseg.org/greener%5Findustry/>
54. Gorman J., “New liquids take aim at old-fashioned chemistry”,
<http://www.sciencenews.org/articles/20010908/bob10.asp>
55. Nice K., “How Hybrid Cars Work”,
<http://auto.howstuffworks.com/hybrid-car.htm/printable>
56. Nice K., “How Catalytic Converters Work”,
<http://auto.howstuffworks.com/catalytic-converter.htm/printable>
57. “IEA Clean Coal Technologies –homepage”,
<http://www.iea-coal.co.uk/templates/ieaccc/content.asp?PageId=62>