

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

«Η κλιματική αλλαγή ενέχει μεγαλύτερο κίνδυνο για την ανθρωπότητα από ότι η τρομοκρατία» - Στίβεν Χόκινγκ

2.1. Παραγωγή Ενέργειας και Ρύπανση του Περιβάλλοντος

Η παραγωγή ενέργειας από τα συμβατικά καύσιμα συνδέεται άμεσα με τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η ρύπανση του περιβάλλοντος φαίνεται αναπόφευκτη ως ένα βαθμό, αλλά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί και να περιοριστούν σημαντικά οι επιπτώσεις της. Ορισμένα από τα είδη της ρύπανσης που εμφανίζονται είναι:

- **«Φαινόμενο του θερμοκηπίου».** Εμφανίζεται σε **παγκόσμιο επίπεδο** (globally) και οι αυξημένες εκπομπές των **αερίων του θερμοκηπίου** θεωρούνται υπεύθυνες για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την προοδευτική δηλαδή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης ή οποία ονομάζεται επίσης **κλιματική αλλαγή** (climatic change) και **παγκόσμια θέρμανση** ή **υπερθέρμανση** (global warming). Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι το CO₂, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου, οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) και το όζον στην τροπόσφαιρα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος του CO₂. Η ενέργεια είναι επίσης υπεύθυνη και για μέρος των εκπομπών μεθανίου, συνεισφέρει στην παραγωγή NO_x και σε μικρό τμήμα των CFC (εκτός αν ταξινομήσουμε τα συστήματα ψύξης στον ενεργειακό τομέα).
- **«Όξινη βροχή».** Εμφανίζεται σε **υπερτοπικό** (περιφερειακό) **επίπεδο** και οφείλεται στις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου από την καύση του γαιάνθρακα και του πετρελαίου.
- Σε παγκόσμιο επίπεδο, με διαφορετική ένταση από περιοχή σε περιοχή, παρατηρείται και η **μείωση της στιβάδας του όζοντος**.
- **Φωτοχημικό νέφος.** Δημιουργείται σήμερα μόνο σε **τοπικό επίπεδο** και οφείλεται βασικά στις εκπομπές των αυτοκινήτων (και βιομηχανίας) με τη συνεργία ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών.
- **Ρύπανση των υδάτινων πόρων.** Για παράδειγμα πυρηνικά ή άλλα υγρά απόβλητα στα υπόγεια νερά, σε τοπικό επίπεδο, και υποβάθμιση ποταμών, λιμνών και ωκεανών.
- **Πετρελαιοκηλίδες στη θάλασσα ή ποταμούς** και διαρροές σε επιφανειακά νερά.
- **Θερμική ρύπανση.** Παγκόσμια και τοπικά: θερμικά απόβλητα σε θάλασσα, άλλους υδάτινους αποδέκτες, ξηρά και ατμόσφαιρα.
- **Χρήση γης.** Είναι κυρίως τοπικής σημασίας. Η χρήση γης και οι συνακόλουθες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις είναι αναπόφευκτες κατά την αξιοποίηση οποιασδήποτε μορφής ενέργειας. Τις περισσότερες φορές οι κάτοικοι διάκεινται εχθρικά σε κάθε χρήση γης για ενεργειακές ή άλλες δραστηριότητες (π.χ. υγειονομική ταφή απορριμμάτων, βιομηχανίες κτλ.). Η συμπεριφορά αυτή είναι γνωστή ως σύνδρομο «όχι στην αυλή μου» ή στα αγγλικά «not-in-my-backyard syndrome», NIMBS. Τέλος, λόγω της όξινης βροχής ή άλλων φαινομένων μπορεί να υπάρξει υποβάθμιση βιοτόπων, δασών κτλ.

Ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας και οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας.

ΚΑΥΣΙΜΑ	ΡΥΠΑΝΤΗΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΗ	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ
Άνθρακας	SO ₂ και SO ₃ (~3 Mt/y) αιθάλη CO ₂	Όξινη βροχή Νέφος Αέριο θερμοκηπίου	Καταλυτική μετατροπή Καθαρότερα καύσιμα Ανακύκλωση, προσωρινή δέσμευση
Πετρέλαιο/ φυσικό αέριο	NO, NO ₂ , CO, υδρογονάνθρακες CO ₂	Φωτοχημικό νέφος Αέριο θερμοκηπίου	Καταλυτική μετατροπή Ανακύκλωση κτλ.
Πυρηνικά	Ραδιενεργά απόβλητα	Υγεία / περιβάλλον	Ταφή / αποθήκευση υαλοποιημένων αποβλήτων

Επιπτώσεις σε Παγκόσμια Κλίμακα από τις Ενεργειακές Πηγές

Η χρήση των **φυσικών (ορυκτών) καυσίμων** διαταράσσει δραστικά τον κύκλο του άνθρακα στη γη και οδηγεί σε ανισορροπίες σε σχέση με τη συγκέντρωση ορισμένων ουσιών. Ενδεχομένως, η προσθήκη CO₂ και άλλων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα θα έχει άμεσες ή μακροχρόνιες επιπτώσεις. Ήδη, μάλλον αρχίζουμε να νοιώθουμε τις πρώτες συνέπειες.

Αλλά και η αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας δεν είναι χωρίς επιπτώσεις. Η **υδραυλική ενέργεια** είναι μια «καθαρή», ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που έχει αξιοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό. Δεν ρυπαίνει (εκτός ίσως από τα αρχικά στάδια), είναι αποδοτική, ευέλικτη και αξιόπιστη, αλλά επιφέρει δραστική αλλαγή των χρήσεων γης και του τοπικού κλίματος. Τα φράγματα μπορούν βεβαίως να αξιοποιηθούν ποικιλοτρόπως για διάφορες άλλες χρήσεις, όπως για ψυχαγωγικούς, τουριστικούς και αθλητικούς σκοπούς, για άρδευση και ύδρευση και για τη δημιουργία υγροβιοτόπων.

Η **αιολική ενέργεια** προκαλεί κάποιας μορφής ρύπανση κατά το στάδιο της κατασκευής και χαρακτηρίζεται από οπτική και ακουστική ρύπανση. Στην αξιοποίηση της **ηλιακής ενέργειας** έχουμε εντατική χρήση γης με χαμηλή απόδοση και σημαντική θερμική ρύπανση. Μια ηλιακή μονάδα 1000 MW_e θα «απορρίπτει» 10000 MW_t θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Ακόμη από την ενέργεια των ωκεανών δημιουργούνται θερμικά απόβλητα, τα οποία απορρίπτονται στους ωκεανούς.

Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση της παγκόσμιας θέρμανσης, της όξινης βροχής (που προκαλούνται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων), της μείωσης της στιβάδας του όζοντος και ορισμένων ακόμη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Προηγείται μία συνοπτική εισαγωγή στη ρύπανση της ατμόσφαιρας.

2.2 Ρύπανση της Ατμόσφαιρας

Ως **αέρια ρύπανση** ορίζεται η προσθήκη στην ατμόσφαιρα ουσιών από ανθρώπινες δραστηριότητες που ρυπαίνουν και οι οποίες είναι ή μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, τα ζώα, τα φυτά, τα υλικά κτλ. Πολλές ουσίες εισέρχονται στην ατμόσφαιρα από φυσικά φαινόμενα (όπως ηφαίστεια, πυρκαγιές δασών, θαλάσσια αερολύματα κτλ.), αλλά δεν μπορούν να

θεωρηθούν ως ρύπανση. Η μέχρι τώρα γνώση της ατμοσφαιρικής χημείας και των φαινομένων της αέριας ρύπανσης δεν είναι ικανοποιητική, παρά την τεράστια πρόοδο που σημειώθηκε τα τελευταία 40 χρόνια.

Ιστορικές Παρατηρήσεις

- Προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος υπήρξαν και στην αρχαιότητα.
- Η πρώτη νομοθεσία για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης έγινε στην Αγγλία το 1273, κατά τη διάρκεια τη βασιλείας του Edward I, και αφορούσε το έλεγχο της χρήσης του φθηνού κάρβουνου που χρησιμοποιούνταν για μαγείρεμα και θέρμανση, επειδή προκαλούσε προβλήματα υγείας και απόθεσης της αιθάλης σε κάθε επιφάνεια. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1307, με βασιλική διαταγή απαγορεύτηκε η χρήση του κάρβουνου μέσα στο Λονδίνο.
- Τα αποτελέσματα της αέριας ρύπανσης εμφανίζονται πολλές φορές μετά από πολύχρονη έκθεση με τη μορφή χρόνιας βρογχίτιδας, καρκίνου του λάρυγγα και άλλων αναπνευστικών προβλημάτων. Η χρόνια βρογχίτιδα έγινε γνωστή εκτός της Αγγλίας με το όνομα «η αγγλική ασθένεια» για προφανείς λόγους.
- Πολλές συμφορές προκλήθηκαν από την ξαφνική και έντονη ρύπανση τα τελευταία 100 χρόνια:
 - (1) Λόγω της έντονης ρύπανσης από το διοξείδιο του θείου και της θερμοκρασιακής αναστροφής περίπου 60 άτομα έχασαν τη ζωή τους τον Δεκέμβριο του 1932 στο Seraign του Βελγίου.
 - (2) Για το ίδιο λόγο, τον Οκτώβριο του 1948 20 άτομα έχασαν τη ζωή τους και περισσότεροι από 6000 αρρώστησαν στο Donora της Πενσυλβάνιας.
 - (3) Το χειρότερο επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι το επεισόδιο του Λονδίνου, που συνέβη μεταξύ 5 και 9 Δεκεμβρίου 1952 στο Λονδίνο, λόγω αντίστοιχων συνθηκών με το Seraign. Πιστεύεται ότι περίπου 12000 άτομα έχασαν τη ζωή του από το «νέφος» που δημιουργήθηκε, στο οποίο η συγκέντρωση του SO₂ ήταν 7 φορές μεγαλύτερη των κανονικών επιπέδων.



Σχήμα 2.1 Φωτογραφίες μέρα μεσημέρι στο Λονδίνο κατά τη διάρκεια του επεισοδίου ατμοσφαιρικής ρύπανσης το 1952.

- (4) Στο Μποπάλ της Ινδίας τον Δεκέμβριο του 1984 η απελευθέρωση ισοκυανιούχου μεθυλίου από εργοστάσιο εντομοκτόνων προκάλεσε το θάνατο μέχρι και 30000 ατόμων.

(5) Στο Chernobyl της Ουκρανίας, στις 26 Απριλίου 1986, έγινε το χειρότερο ατύχημα σε πυρηνικό εργοστάσιο με την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων ^{137}Cs και ^{131}I . Η ραδιενεργός ρύπανση κάλυψε μια τεράστια περιοχή, από τη Βόρεια Σουηδία μέχρι την Βόρεια Ελλάδα. Αν και επίσημα οι νεκροί ανέρχονται σε 41, εκτιμάται ότι περισσότεροι από 40000 άτομα θα έχουν χάσει την ζωή τους σε διάστημα 20 ετών μετά το ατύχημα.

Το «φωτοχημικό νέφος» (photochemical smog), το οποίο οφείλεται στην αλληλεπίδραση μονοξειδίου του αζώτου και οργανικών ενώσεων με την ηλιακή ακτινοβολία και διαφέρει ριζικά από το νέφος του Λονδίνου, αποτελούσε για πολλές δεκαετίες (από τη δεκαετία του '40) σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα στο Los Angeles, ενώ αποτελεί σημαντικό πρόβλημα σε πολλές μεγαλουπόλεις.

Ορισμός ρύπου

Ποιες ουσίες θα πρέπει να θεωρηθούν ως ρύποι; **Πρόσθετη ουσία** (contaminant) θεωρείται οποιαδήποτε ουσία που προστίθεται στην ατμόσφαιρα, και η οποία προκαλεί διαταραχή της μέσης γεωχημικής σύστασης του αέρα (τοπικά ή γενικά). Από την άλλη μεριά ως **ρυπαντής ή ρύπος** (pollutant) ορίζεται η πρόσθετη ουσία που παρουσιάζει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Ο διαχωρισμός δεν είναι προφανής σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα: το διοξείδιο του άνθρακα είναι πρόσθετη ουσία ή ρύπος;

Οι ρύποι διακρίνονται στους αέριους (π.χ. SO_2) και σε σωματιδιακούς (π.χ. λεπτή σκόνη). Εισάγονται στην ατμόσφαιρα είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία, εμπόριο, γεωργία, μεταφορές), ή από φυσικές πηγές (ηφαίστεια, θαλάσσια αερολύματα, γύρη, φυσικές πυρκαγιές). Αυτοί οι «**πρωτογενείς**» ρύποι, δηλαδή όσες ουσίες εκπέμπονται κατ' ευθείαν από τις πηγές ρύπανσης, μπορούν να αντιδράσουν με άλλες ουσίες (ρύποι ή όχι) και να σχηματιστούν οι «**δευτερογενείς**» ρύποι με τη μορφή αερίων (π.χ. όζον) ή μικροσωματιδίων-αερολυμάτων (π.χ. σταγονίδια H_2SO_4). **Αερόλυμα** (aerosol) είναι κάθε διασπορά υγρών (σταγόνες) ή στερεών σωματιδίων στον αέρα. Κάθε χρόνο περίπου 120 εκατομμύρια τόνοι ρύπων εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες μόνον στις Η.Π.Α.!

Ένας σημαντικός παράγοντας στο χαρακτηρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων (0,01 – 50 μm) είναι το μέγεθός τους (π.χ. η αεροδυναμική διάμετρος, η οποία ορίζεται ως η διάμετρος σφαίρας με $\rho=1 \text{ g/mL}$, η οποία καθιζάνει με τον ίδιο ρυθμό με το υπό εξέταση σωματίδιο σε ακίνητο αέριο). Τα σωματίδια συνήθως ταξινομούνται ανάλογα με το μέγεθός τους ως:

- Μεγάλα σωματίδια (coarse particles) όταν η διάμετρος τους είναι μεγαλύτερη από 2,5 μm . Δεν εισπνέονται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρωπο, γιατί αναχαιτίζονται στη ρινική ή τη στοματική κοιλότητα. Το τμήμα (ή η συγκέντρωση) των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μικρότερη από 10 μm αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως **PM₁₀** (σωματίδια διαμέτρου έως 10 μm). Ως **PM_{2,5}** αναφέρεται το τμήμα των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm .
- Λεπτά σωματίδια (fine particles), όταν η αεροδυναμική διάμετρος τους είναι μικρότερη από 2,5 μm . Τα σωματίδια αυτά διεισδύουν και εναποτίθενται στους πνεύμονες. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: $d < 0,1 \mu\text{m}$ και $d > 0,1 \mu\text{m}$.
- Ιδιαίτερα λεπτά σωματίδια (ultrafine particles), όταν η διάμετρος τους είναι μικρότερη από 0,1 μm .

Τα σωματίδια χαρακτηρίζονται από μια ισοδύναμη διάμετρο και ορισμένη κατανομή μεγέθους, κατακάθονται (με ταχύτητα κατακάθισης V σύμφωνα με το νόμο του Stokes: $V = g d^2 (\rho_{\text{σωμ.}} - \rho_{\text{αέρα}}) / 18\mu$,

όπου d είναι η διάμετρος του σωματιδίου, μ το ιξώδες του αέρα και ρ η πυκνότητα), συσσωματώνονται (παράδειγμα η συμπύκνωση νερού-βροχή) και επιδρούν στην ορατότητα (τη μειώνουν) λόγω σκέδασης και απορρόφησης του φωτός

Εκπομπές Ρύπων

1. *Πρωτογενείς αέριοι ρύποι.* Οι κυριότεροι πρωτογενείς αέριοι ρύποι είναι:
 - ενώσεις θείου (π.χ. SO_2 , H_2S)
 - ενώσεις αζώτου (π.χ. NH_3 , NO_x)
 - ενώσεις άνθρακα (π.χ. υδρογονάνθρακες, CFCs, CO , CO_2 κ.ά. – πτητικές οργανικές ουσίες)
 - ενώσεις αλογόνων (π.χ. χλωριούχα και φθοριούχα άλατα)
2. *Πρωτογενή σωματίδια* (από φυσικές πηγές και ανθρώπινες δραστηριότητες)
 - αέρια από ραδιενεργή δραστηριότητα και τη διεργασία της καύσης.
 - σωματίδια Aitken (δηλ. σωματίδια με $d < 0,1 \mu\text{m}$) και λεπτά σωματίδια (με διάμετρο μεταξύ $0,1$ και $2,5 \mu\text{m}$) που σχηματίζονται από φυσικά αίτια, όπως φωτιές και θαλάσσια αερολύματα, και από διεργασίες βιομηχανικής καύσης.
 - υλικά που περιέχουν άνθρακα (π.χ. αιθάλη, οργανικά)
 - σωματίδια από εκπομπές αυτοκινήτων (π.χ. PbO , θειικά)
 - σωματίδια που περιέχουν ελαφρά μέταλλα (π.χ. Na , K , Si , Mg , Al)
 - σωματίδια που περιέχουν βαρέα μέταλλα (π.χ. Ti , Na , Fe , Ni , Cr , Cu , As , Zn από την ιπτάμενη τέφρα και τα χαλυβουργεία)
 - μεγάλα σωματίδια, όπως σκόνη και άμμος που μεταφέρονται από τον άνεμο, σωματιδιακή ύλη από βιομηχανικές δραστηριότητες και από τις μεταφορές
 - ζώντα σωματίδια, όπως γύρη, μικροοργανισμοί και έντομα.
3. *Ραδιενεργοί ρύποι.* Η ραδιενέργεια είναι ένα πρωτογενής αέριος ρύπος από φυσικές πηγές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι ανθρωπογενείς ραδιενεργές εκπομπές προέρχονται από τη βιομηχανία ατομικής ενέργειας (εξόρυξη, άλεση, επεξεργασία, παρασκευή σχάσιμων καυσίμων), από πυρηνικούς αντιδραστήρες, από εκρήξεις ατομικών βομβών και από μονάδες που κατεργάζονται τα απεμπλουτισμένα καύσιμα.
4. *Δευτερογενείς αέριοι ρύποι.* Οι χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (και κυρίως οι φωτοχημικές) είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή πρωτογενών αέριων ρύπων σε ενδιάμεσα αντιδρώντα προϊόντα (π.χ. ελεύθερες ρίζες) και, τελικά, σε δευτερογενείς αέριους ρύπους, όπως
 - NO_2 από NO
 - O_3 μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων παρουσία οργανικών ουσιών
5. *Δευτερογενή σωματίδια.* Οι χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (και κυρίως οι φωτοχημικές) είναι υπεύθυνες για τη μετατροπή πρωτογενών και δευτερογενών αέριων ρύπων σε δευτερογενή σωματίδια, που συνίστανται από σωματίδια με $d < 2,5 \mu\text{m}$. Οι γνωστότερες μετατροπές είναι:
 - η μετατροπή του SO_2 σε θειικά, SO_4^-
 - η μετατροπή του NO_2 σε νιτρικά, NO_3^-
 - η μετατροπή οργανικών ενώσεων σε οργανικά σωματίδια.

Πίνακας 2.2. Εισαγωγή ρύπων στην ατμόσφαιρα από διάφορες φυσικές πηγές.

Πηγή	Συνεισφορά
Ηφαίστεια	SO _x , σωματίδια
Πυρκαγιές δασών	CO, CO ₂ , NO _x , PM
Φυτά	Υδρογονάνθρακες, γύρη
Αποσύνθεση φυτών	CH ₄ , H ₂ S
Έδαφος	Σκόνη και ιούς
Θάλασσα	Σταγονίδια και μικροσωματίδια

Πίνακας 2.3. Κυριότεροι αέριοι ρύποι.

• Σωματίδια PM ₁₀ , PM _{2,5}
• Διοξείδιο του θείου (SO ₂)
• Οξειδία του αζώτου (NO _x)
• Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
• Πτητικές οργανικές ουσίες (VOC)
• Μόλυβδος (Pb)
• Όζον (O ₃)

Απομάκρυνση – δέσμευση ρυπαντών

Όπως η φύση αποτελεί πηγή πρόσθετων ουσιών στην ατμόσφαιρα, έτσι προσφέρει και ορισμένους φυσικούς «συλλέκτες» ή εστίες απορρόφησης της ρύπανσης (sinks) και μηχανισμούς απομάκρυνσης των ρύπων από τον αέρα. Τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί απορρόφησης: (α) η διασπορά, (β) οι χημικές αντιδράσεις και (γ) η απόθεση. Η απορρόφηση των ρύπων από τη βλάστηση, το έδαφος και τους υδάτινους ταμιευτήρες, καθώς και η οξειδωση και μετατροπή τους σε σωματίδια που μπορούν να κατακαθίσουν, αποτρέπουν τη συσσώρευση των ρυπαντών στον αέρα. Οι περισσότεροι ρύποι μένουν στην ατμόσφαιρα από μερικά λεπτά μέχρι μερικές μέρες.

2.3 Κλιματική Αλλαγή - Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Όλες οι ενδείξεις μέχρι τώρα συγκλίνουν ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη επίδραση του ανθρώπου πάνω στο κλίμα της γης και ελάχιστοι επιστήμονες πλέον αγνοούν το λεγόμενο «**φαινόμενο του θερμοκηπίου**». Οι σκεπτικιστές απλώς υποεκτιμούν ορισμένες συνέπειες του φαινομένου ή διαφωνούν με τη συνεισφορά των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο ή ποιο αέριο θα πρέπει να ελεγχθεί πρώτα. Αν και ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου» έχει χρησιμοποιηθεί γενικά για να περιγράψει το ρόλο της ατμόσφαιρας (με την υγρασία και τα νέφη) στη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας στη γη (χωρίς αυτό το φαινόμενο η θερμοκρασία της γης θα ήταν 33°C ψυχρότερη!), στις τελευταίες δεκαετίες ο όρος αυτός συνδέθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων, όπως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και των οξειδίων του αζώτου, έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την

επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα, με επακόλουθο την αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Απαντάται και με τους όρους «κλιματική αλλαγή» (climatic change), «παγκόσμια υπερθέρμανση» ή «υπερθέρμανση του πλανήτη» (global warming).

Ο **αέρας** είναι ένα μη-ομογενές μίγμα αέριων ουσιών και στερεών και υγρών σωματιδίων. Λόγω της παρουσίας αυτών των σωματιδίων θεωρείται αερόλυμα. Η σύσταση του αέρα αναφορικά με τα αέρια παρουσιάζεται στους Πίνακες 2.4 και 2.5. Σημειώνεται ότι το 95% της μάζας του αέρα περιέχεται στην Τροπόσφαιρα.

Πίνακας 2.4 Συγκεντρώσεις των κύριων συστατικών του αέρα σε % w/w ή μοριακό κλάσμα.

Συστατικό	% κατά βάρος	Μοριακό κλάσμα
N ₂	75,51	0,7808
O ₂	23,14	0,2095
⁴⁰ Ar	1,28	0,0093
Υδρατμοί	-	0-0,04

Πίνακας 2.5 Συγκεντρώσεις των δευτερευόντων συστατικών του αέρα σε ppm.

Συστατικό	ppmν (μέρη στο εκατομμύριο*)
CO ₂	400
Ne	18
He	5,2
CH ₄	2
Kr	1
H ₂	ίχνη
N ₂ O	ίχνη
Xe	ίχνη

*400 ppm σημαίνει 400 από τα 1 εκατ. μόρια είναι CO₂

Τι είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου

- Όπως σε ένα θερμοκήπιο ή στο αυτοκίνητο μας όταν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο και αυξάνει η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους.
- Η γη διατηρεί τη θερμοκρασία της λόγω της ατμόσφαιρας (και λόγω αυτού του φαινομένου από την παρουσία των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα) μεταξύ 0°C και <50°C. Αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα η θερμοκρασία θα ήταν 30°C χαμηλότερη.
- Το φεγγάρι, αν και βρίσκεται στην ίδια θέση με τη γη σε σχέση με τον ήλιο, έχει μέση θερμοκρασία -18°C, με ακραίες τιμές -150°C και +100°C.
- Η μέση θερμοκρασία της γης είναι 15°C, που αποτελεί θερμικό σύνορο που αποτρέπει την ανάμιξη της τροπόσφαιρας με την στρατόσφαιρα (η στιβάδα του όζοντος στην τροπόσφαιρα αποτρέπει επίσης την ανάμιξη).

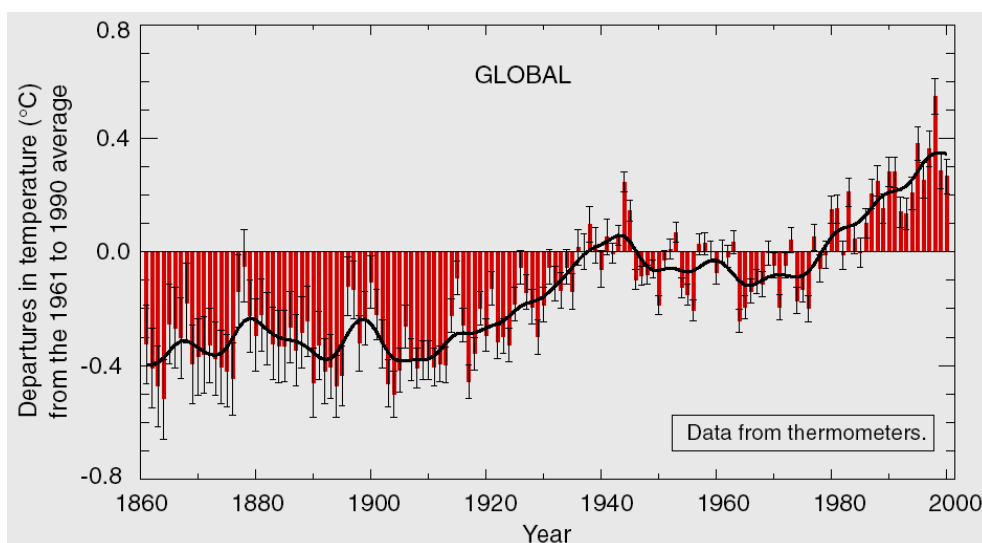
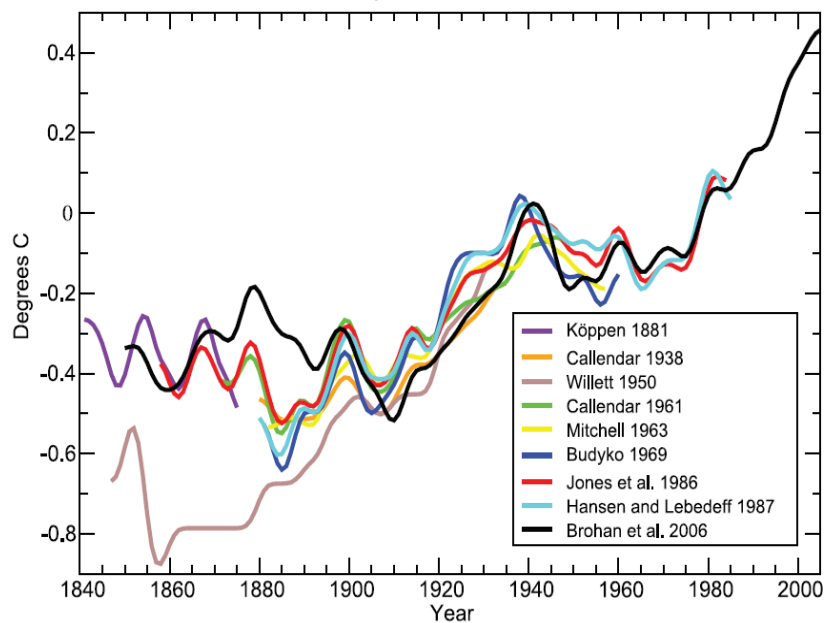
Πως γίνονται οι μετατροπές στη φύση

Η θερμοκρασία του ήλιου είναι περίπου 6000°C και εκπέμπει την ακτινοβολία κυρίως στο ορατό φάσμα. Περίπου το 86% της ενέργειάς του το μεταδίδει με ακτινοβολία στα 400-700 nm, δηλ. στο ορατό φάσμα (400 nm: μπλε και 700 nm: κόκκινο). Ένα 7% μεταδίδεται με υπεριώδη ακτινοβολία (UV<400 nm), ενώ ένα άλλο 7% μεταδίδεται με υπέρυθρη ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 700 nm (IR). (Περισσότερη συζήτηση για το πως εισέρχεται στη γη η ακτινοβολία από το ήλιο και πως εξέρχεται δίνεται στο Κεφάλαιο 8.)

Η θερμοκρασία της γης κυμαίνεται στην περιοχή 10-30°C και ακτινοβολεί προς το διάστημα στα 4000-100000 nm, δηλαδή στην υπέρυθρη περιοχή. Οι διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα απορροφούν ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος. Οι υδρατμοί απορροφούν ακτινοβολία στα 4000-7000 nm. Το CO₂ απορροφά έντονα στα 7000 – 10000 nm. Περίπου το 70% της ακτινοβολίας IR

φεύγει από τη γη προς το διάστημα, αλλά το 30% απορροφάται από το CO₂, τους υδρατμούς και το μεθάνιο (και τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου, N₂O, CFCs, O₃ και υδρογονάνθρακες), θερμαίνοντας έτσι την τροπόσφαιρα. Η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι 1,7 ppm και αυξάνει κατά 1,2% το χρόνο.

Κανονικά στη φύση υπάρχει ισορροπία στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Όση ενέργεια εισέρχεται στο γήινο περιβάλλον, τόση ενέργεια απομακρύνεται. Η απομάκρυνση από αυτήν την ισορροπία οδηγεί στην παγκόσμια θέρμανση και στην κλιματική αλλαγή. Αυτό αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.2 που παρουσιάζει την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο και τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της γης. Σημειώνεται ότι σε όλη την ιστορία της γης υπάρχει άμεση συσχέτιση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα και της θερμοκρασίας της γης, όπως καταδεικνύεται στο Σχήμα 2.3. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε αέρια εγκλεισμένα σε παγετώνες σε διαφορετικό βάθος.



Σχήμα 2.2 Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο (επάνω) και μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης τα τελευταία 150 χρόνια (κάτω). (Πηγή για το δεύτερο διάγραμμα: IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, 2003.)

Αέρια του θερμοκηπίου

Εκτός από το σύστημα νερό-ατμός, τα κυριότερα άλλα αέρια του θερμοκηπίου είναι:

1. Το **διοξείδιο του άνθρακα** (CO_2) το οποίο παράγεται κυρίως κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Η συνεισφορά των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο αποτυπώνεται στον Πίνακα 2.6, ενώ η μεταβολή της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων τα τελευταία 1000 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4. Το κάψιμο των δασών συνεισφέρει κατά 20-33% στην αύξηση του CO_2 , αν και αυτό αμφισβητείται από ορισμένους (γιατί από τα τροπικά δάση εκπέμπεται μεθάνιο). Οι ωκεανοί έχουν ήδη απορροφήσει το 30-50% των εκπομπών CO_2 .

Πίνακας 2.6. Μερίδια των αερίων θερμοκηπίου στο φαινόμενο από τη συνεισφορά του ενεργειακού τομέα των αναπτυσσόμενων χωρών.

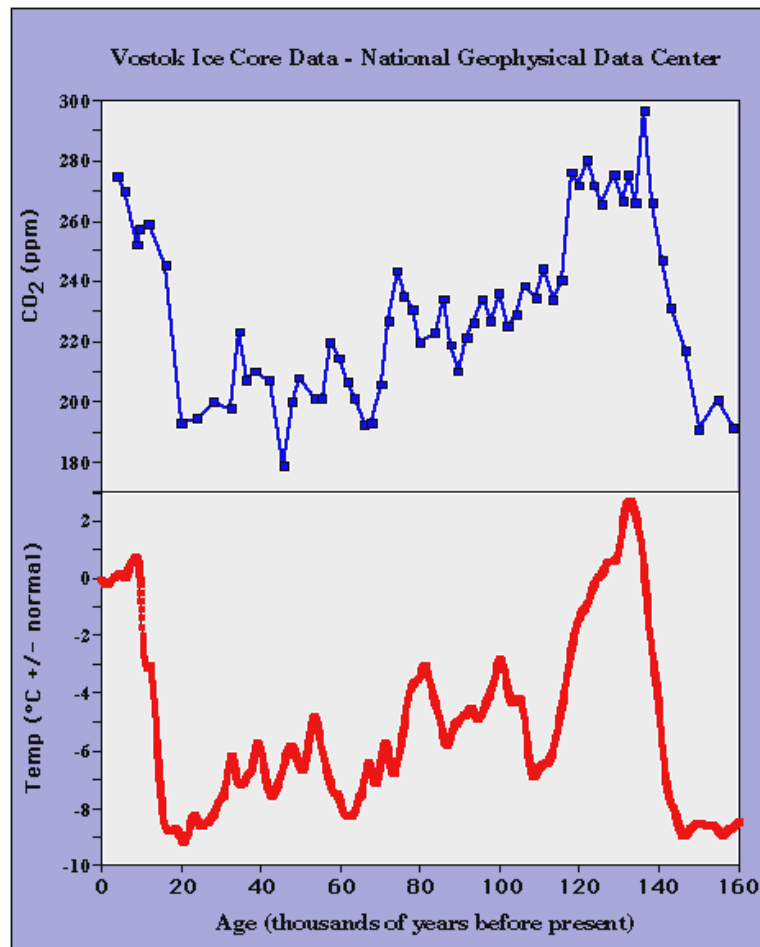
Αέριο	CO_2	CH_4	N_2O	Άλλα	Σύνολο
Μερίδιο %	82%	12%	4%	2%	100%
Συνεισφορά του ενεργειακού τομέα	96%	35%	26%	-	85%
Κύριες πηγές ενεργειακού τομέα	Καύση ορυκτών καυσίμων	Διαφυγή από καύσιμα	Καύση ορυκτών καυσίμων	-	

Πηγή: UNFCCC, "Second compilation and synthesis of second national communications", FCCC/CP/1998/11/Add.1, Sept. 1998.

2. Το **υποξείδιο του αζώτου** (N_2O). Προέρχεται περίπου ισόποσα από ανθρωπογενείς (καύση των ορυκτών καυσίμων), όσο και από φυσικές πηγές (65% από το έδαφος και 30% από τη θάλασσα).
3. Το **μεθάνιο** (CH_4) παράγεται από την αποσύνθεση φυτών και ζωικών αποβλήτων (κατά 30%), τις διαρροές από την παραγωγή φυσικού αερίου και την εξόρυξη του άνθρακα, την καλλιέργεια ρυζιού, την κτηνοτροφία κτλ. Συνδέεται περισσότερο με την παραγωγή τροφίμων και την πληθυσμιακή αύξηση και πιστεύεται ότι θα γίνει στο μέλλον το κυρίαρχο αέριο του θερμοκηπίου, λόγω του ότι ένα μόριο CH_4 αντιστοιχεί σε 23 μόρια CO_2 . Σήμερα ο ρυθμός αύξησης του είναι περίπου ίσος με το ρυθμό αύξησης του CO_2 .
4. Οι **χλωροφθοράνθρακες** (CFC) και άλλοι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες χρησιμοποιούνται (ή καλύτερα είχαν χρησιμοποιηθεί) ως ψυκτικά, διογκωτικά, διαλύτες κλπ. Βέβαια η προοδευτική εξαφάνισή τους λόγω της επίδρασής τους στο στρατοσφαιρικό όζον (Συνθήκη του Montreal) θα έχει θετική επίδραση και στη κλιματική αλλαγή (βλ. μεταβολή στον Πίνακα 2.6), αλλά και οι υδροχλωροφθοράνθρακες και υδροφθοράνθρακες που τους αντικαθιστούν είναι επίσης αέρια του θερμοκηπίου.

Η ιδέα του **Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης** (ΔΠΘ, global warming potential) αναπτύχθηκε για να συγκρίνει την ικανότητα κάθε αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με την ικανότητα του CO_2 να απορροφήσει την ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και να συμβάλει έτσι στην παγκόσμια θέρμανση. Το δυναμικό του CO_2 ορίστηκε 1, με την υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 100 χρόνια. Έτσι, για την ίδια ποσότητα εκπομπών, η σειρά (από μεγαλύτερες τιμές) του ΔΠΘ είναι: $\text{CFC} > \text{N}_2\text{O} > \text{CH}_4 > \text{CO}_2$. Δεν έχουν προταθεί ΔΠΘ για τους ρυπαντές CO, N_2O , μη μεθανιούχες οργανικές ουσίες και SO_2 , επειδή δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης της άμεσης ή έμμεσης επίδρασής τους. Τιμές του ΔΠΘ δίνονται στον Πίνακα 2.7. Συγχρόνως, έχει οριστεί και η έννοια της

ενίσχυσης της ακτινοβολίας (radiative forcing), της συμβολής δηλαδή ενός αερίου στην αύξηση της ακτινοβολίας IR που προσπίπτει στη γη από την ατμόσφαιρα.

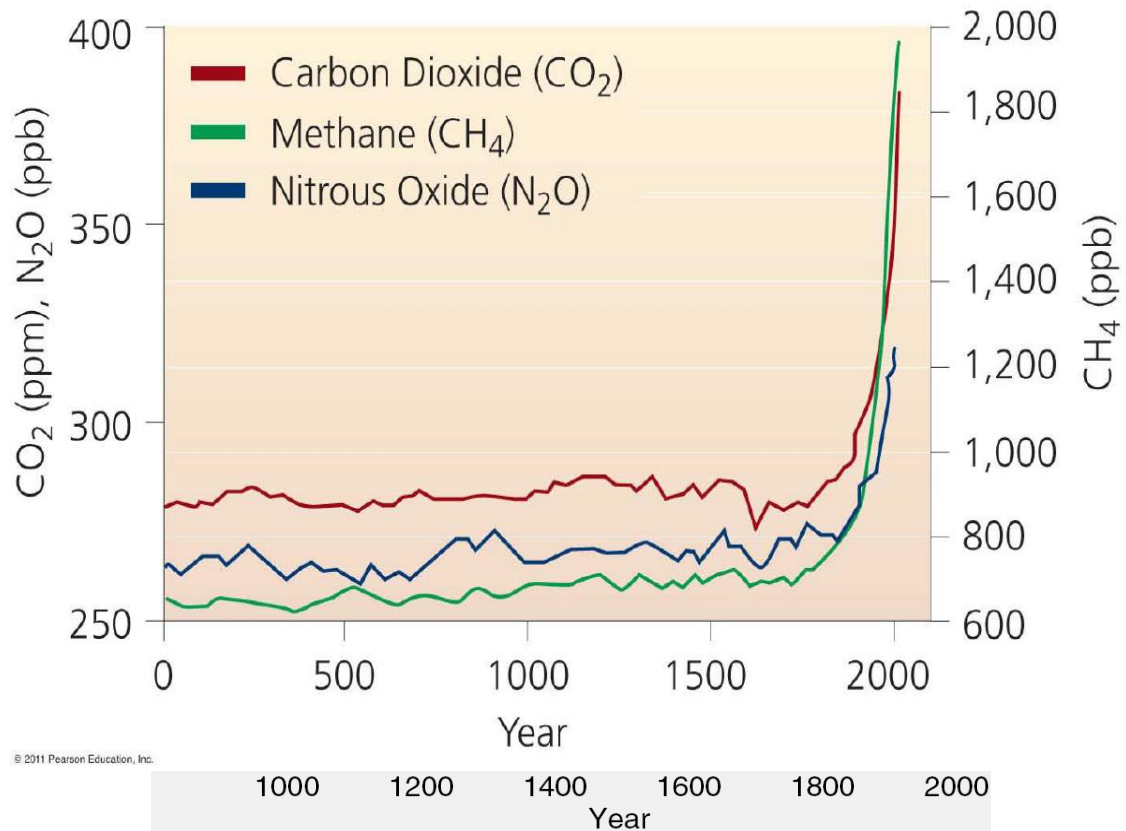


Σχήμα 2.3. Συσχέτιση της θερμοκρασίας της γης με τη συγκέντρωση του CO₂ τα τελευταία 160000 χρόνια. Οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ έγιναν σε δείγματα εγκλεισμένων αερίων σε παγόβουνα.

Πίνακας 2.7. Δυναμικά παγκόσμιας θέρμανσης αερίων του θερμοκηπίου σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών.

Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης*	
Αέριο Θερμοκηπίου	
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	1
Μεθάνιο (CH ₄)	23
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	296
HFC-23	12000
HFC-125	3400
HFC-134a	1300
HFC-143a	4300
CF ₄	5700
C ₂ F ₆	11900
SF ₆	22200
HFE-125	19990
HG-10	2700

* Βασίζεται σε χρόνο παραμονής του CO₂ στην ατμόσφαιρα 100 έτη. (Πηγή: IPCC 2003).



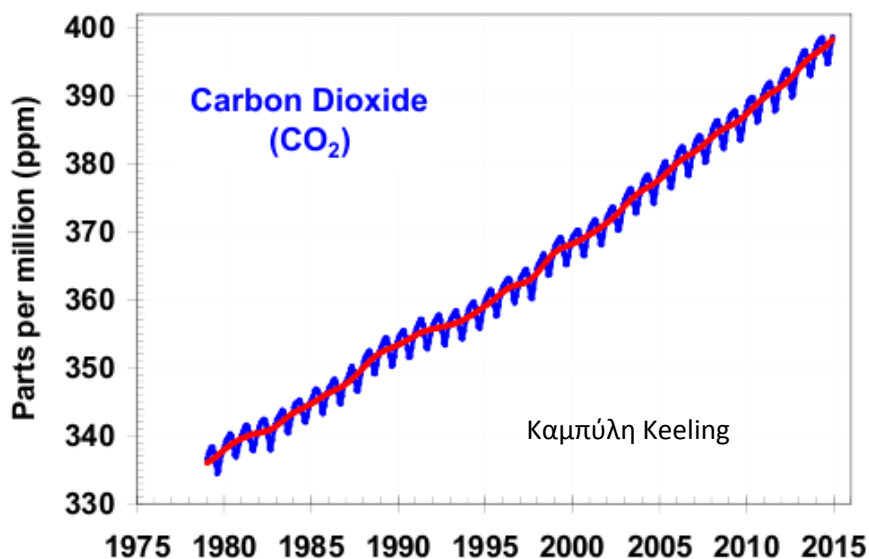
Σχήμα 2.4. Μεταβολή της συγκέντρωσης ορισμένων αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 1000 χρόνια.

Προβλέψεις για τις εκπομπές CO₂ και την Παγκόσμια θέρμανση

Πριν από 1.000 χρόνια η συγκέντρωση του CO₂ ήταν περίπου 280 ppm, ενώ σήμερα ανέρχεται περίπου στα 400 ppm (Σχήμα 2.5) και αυξάνει τελευταία με ρυθμό περίπου 1,8 ppm το χρόνο. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ ανέρχονται σε περίπου 30 δισεκατομμύρια (Gt) τόνοι άνθρακα ανά έτος. Οι εκπομπές του CO₂ τα τελευταία χρόνια στον κόσμο και στην Ελλάδα έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 1.

Η συγκέντρωση του CO₂ το 2100 θα εξαρτηθεί από:

- (i) τον πληθυσμό της γης,
 - (ii) το επίπεδο εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα,
 - (iii) το βαθμό καταστροφής των δασών,
 - (iv) τα τεχνολογικά επιτεύγματα και τη βελτιωμένη απόδοση συσκευών και διεργασιών
 - (v) την ανάπτυξη των οικονομιών του κόσμου.
- Οι εκπομπές από τις αναπτυσσόμενες χώρες που εξαρτώνται από το κάρβουνο αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά. Για παράδειγμα, εκπομπές της Κίνας ήδη από τη δεκαετία του 2000 ξεπέρασαν τις εκπομπές των ΗΠΑ.



Σχήμα 2.5. Μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ τα τελευταία 40 χρόνια. (Πηγή: NOAA <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>)

Πίνακας 2.8. Συγκεντρώσεις και ρυθμός αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου (Πηγή: IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001, 2003.)

Αέριο θερμοκηπίου	Συγκ. στην ατμόσφαιρα (~1880)	Συγκ. στην ατμόσφαιρα (1998)	Ρυθμός αύξησης ανά έτος (90-99)	Χρόνος παραμονής (έτη)
Υδρατμοί		3000 ppmv		
CO ₂	~280 ppmv	365 ppmv	1,5 ppmv (0,4%)	5-200
CH ₄	~700 ppbv	1745 ppbv	7 ppbv (0,4%)	12
N ₂ O	~270 ppbv	314 ppbv	0,8 ppbv (0,25%)	114
Όζον μεταβλητό	μεταβλητό	μεταβλητό		
CFC-11	0	268 pptv	-1,4 pptv (-0,5%)	45
HFC-23	0	14 pptv	0,55 pptv (4%)	260
CF ₄	0	80 pptv	1 pptv (1,25%)	>50000

ppmv : μέρη στο εκατομμύριο κατ' όγκον

ppbv : μέρη στο δισεκατομμύριο κατ' όγκον

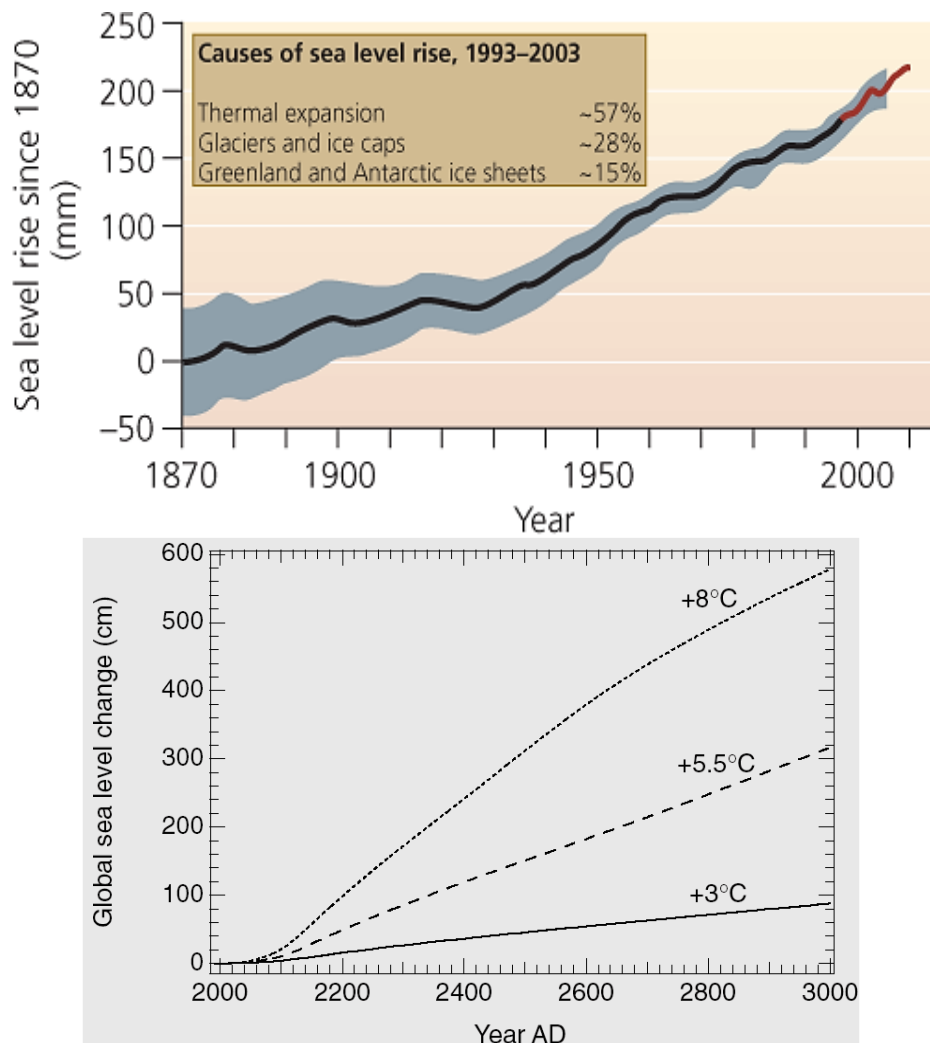
pptv : μέρη στο τρισεκατομμύριο κατ' όγκον

Προβλέψεις και οι ενδείξεις για την Παγκόσμια Θέρμανση

Οι σημαντικότερες από τις επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης για τα επόμενα 300 χρόνια είναι:

1. Μέση εκτίμηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη 1,5-6°C μέχρι το 2050. Η αύξηση δεν θα είναι όμοια σε όλες τις περιοχές. Μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στους πόλους.
2. Προβλέπεται μεγάλης έκτασης λιώσιμο των πάγων, με αποτέλεσμα την ανύψωση του επιπέδου της θάλασσας κατά 0,1-0,5 m το 2100 (Σχήμα 2.6). Η ανύψωση ενισχύεται από τη θερμική διαστολή του νερού. Ευρύτερες πλημμύρες αναμένονται σε περιοχές χαμηλού ή αρνητικού υψομέτρου (στην Μεσόγειο στο Δέλτα του Νείλου, τη Βενετία, τη Θεσσαλονίκη κ.ά.). Η ανύψωση

της στάθμης της θάλασσας θα είναι ίσως η πιο δραματική επίπτωση με πρόβλεψη για ανύψωση της θάλασσας κατά 2 μέτρα γύρω στο 2300! Η ανύψωση της θάλασσας κατά 1 m θα επηρεάσει μία έκταση 5 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων και περίπου 1 δις άτομα.



Σχήμα 2.6. Αύξηση του επιπέδου της θάλασσας τα τελευταία χρόνια (επάνω) και σενάρια αύξησης του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με την τελική αύξηση της θερμοκρασίας το 3000 (κάτω).

3. Η μείωση των περιοχών με πάγους και χιόνια θα μειώσει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στο διάστημα (μείωση της ανακλασιμότητας)
4. Αλλαγές στα επίπεδα βροχόπτωσης μπορεί να προκαλέσει την ερημοποίηση ορισμένων περιοχών, ενώ σε άλλες περιοχές μπορεί να προκληθούν πλημμύρες και έντονα καιρικά φαινόμενα.
5. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να είναι γρηγορότερη από την ικανότητα των φυτών και ζώων να προσαρμοστούν στις νέες κλιματολογικές συνθήκες, επιταχύνοντας την εξαφάνιση ορισμένων ειδών.
6. Η ενέργεια από τη θέρμανση των ωκεανών, της ξηράς και της ατμόσφαιρας μπορεί να επιφέρει περισσότερο ισχυρούς και καταστροφικούς τυφώνες. Επίσης, λόγω της θέρμανσης των ωκεανών μπορεί να τροποποιηθεί η κατεύθυνση των θαλάσσιων ρευμάτων με πιθανό αποτέλεσμα την ψύχρανση περιοχών της Ευρώπης με τον περιορισμό του ρεύματος από τον Κόλπο του Μεξικού.

7. Η άνοδος της θερμοκρασίας θα συντείνει στη διάδοση ασθενειών που προέρχονται από υδρόβιους μικροοργανισμούς, αλλά και από οργανισμούς που μεταφέρονται από έντομα.

Βέβαια κάποιες προβλέψεις θα πρέπει να μετριάσουν εξαιτίας της αναμενόμενης επίδρασης της ψύξης της ατμόσφαιρας από τις εκπομπές αερολυμάτων SO₂, της δέσμησης μεγαλύτερων ποσοτήτων CO₂ από τα δάση (ο ρυθμός ανάπτυξης των οποίων αναμένεται να αυξηθεί) από τους ωκεανούς, και της μείωσης των εκπομπών CFC λόγω του Πρωτοκόλλου του Montreal.

Ορισμένες ενδείξεις για το επίπεδο της παγκόσμια θέρμανση μέχρι τώρα είναι τα εξής:

1. Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξήθηκε κατά ~0,8°C τα τελευταία 150 χρόνια. Στην Αρκτική η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν διπλάσια.
2. Η τελευταία εικοσαετία ήταν η θερμότερη περίοδος των δύο τελευταίων αιώνων
3. Στην Ανταρκτική, όπου παρατηρήθηκε μέση ετήσια αύξηση θερμοκρασίας 0,05°C από το 1958, ο παγετώνας Wordie έχει λιώσει σχεδόν παντελώς.
4. Η γραμμή παρουσίας δένδρων στη Φιλανδία κινείται βόρεια με ρυθμό περίπου 40 m/έτος.
5. Η γραμμή «πάγου» της ατμόσφαιρας έχει ανυψωθεί περισσότερο από 160 m τα τελευταία 50 χρόνια.
6. Μαλάκια των ζεστών νερών βρίσκονται όλο και βορειότερα, ενώ μαλάκια κρύων νερών δεν ανευρίσκονται πια στα νοτιότερα όρια παρουσίας τους.
7. Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κατά ~20 cm στα τελευταία 150 χρόνια, με ρυθμό ανύψωσης ~1,7 mm/έτος. (το 57% λόγω θερμικής διαστολής, 28% από το λιώσιμο των πάγων)
8. Ο παγετώνας στο όρος Κιλιμάντζαρο συρρικνώθηκε περισσότερο από 40%. Εκτίμηση ορισμένων επιστημόνων είναι ότι ο παγετώνας αυτός δεν θα υπάρχει σε 50 χρόνια.
9. Μέσα σε τρία χρόνια, παγετώνες 11.000 ετών στη Σιβηρία έγιναν... λίμνες. «Περιβαλλοντική χιονοστιβάδα» χαρακτηρίζουν το φαινόμενο επιστήμονες που υποστηρίζουν ότι το οριστικό λιώσιμο των πάγων στη Σιβηρία δεν θα αποφευχθεί.

ΤΟ ΒΗΜΑ

Τεχνολογία – Πλανήτη

Τα ρεκόρ ζέστης έσπασε ο εφετινός Ιούλιος

Ως ο θερμότερος μήνας που έχει καταγραφεί ποτέ χαρακτηρίστηκε από τους ειδικούς ο Ιούλιος του 2015
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ: 24/08/2015, 12:09 | ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ: 24/08/2015, 12:09

Από το 1880 που άρχισε η επίσημη καταγραφή μετρήσεων, κανένας μήνας δεν ήταν πιο θερμός από τον φετινό Ιούλιο, ανακοίνωσε η αμερικανική **Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας** (NOAA). Σε παγκόσμια κλίμακα, η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της ξηράς και της θάλασσας έφτασε τον περασμένο μήνα τους 16,61 βαθμούς Κελσίου, ξεπερνώντας κατά 0,08 βαθμούς το προηγούμενο ρεκόρ που είχε καταγραφεί τον Ιούλιο του 1998.

Καυτός Ιούλιος

Δεδομένου ότι ο Ιούλιος είναι ο θερμότερος μήνας του έτους σε παγκόσμιο επίπεδο, η μέση τιμή για τον περασμένο μήνα ήταν και η υψηλότερη που έχει καταγραφεί ποτέ οποιονδήποτε μήνα. Σε σχέση με τον μέσο όρο για τον 20ό αιώνα, ο φετινός Ιούλιος ήταν 0,81 βαθμούς Κελσίου θερμότερος. Στην ξηρά, πάντως, η μέση θερμοκρασία του Ιουλίου δεν ήταν ακραία. Έφτασε τους 0,96 βαθμούς πάνω από το μέσο όρο του 20ού αιώνα, και ήταν ο έκτος θερμότερος Ιούλιος από το 1880. Στη θάλασσα, αντίθετα, η διαφορά από το μέσο όρο του 20ού αιώνα, 0,75 βαθμοί Κελσίου, είναι η μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί στην επιφάνεια του νερού για οποιονδήποτε μήνα από το 1880 ως σήμερα.

Λόγω της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, τα ρεκόρ ζέστης

καταρρίπτονται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια. Το 2014 ήταν το θερμότερο έτος της σύγχρονης ιστορίας. Το ρεκόρ όμως δεν αποκλείεται να καταρριφθεί φέτος, καθώς το πρώτο τρίμηνο του 2015 ήταν το πιο ζεστό από το 1880.
Η διεθνής κοινότητα θα επιχειρήσει να καταλήξει σε νέα συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στη σύνοδο για το κλίμα που οργανώνει ο ΟΗΕ στο Παρίσι στα τέλη του έτους.

Διασκέψεις για την κλιματική αλλαγή

Μάιος και Ιούνιος 1992, Rio de Janeiro, Βραζιλία: United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), **Convention of Climate Change** (σύνοδος για την αλλαγή του κλίματος, UNFCCC), με τη συμμετοχή 150 χωρών, όπου υποστηρίχτηκε η σταθεροποίηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990 από το 2000 και μετά.

1995: Βερολίνο και 1996: Γενεύη, Ελβετία. Αλλαγή στάσης των ΗΠΑ από προαιρετικά σε υποχρεωτικά μέτρα. Τα πλούσια αναπτυγμένα κράτη που είναι υπεύθυνα για τις μεγαλύτερες ποσότητες των εκπομπών οφείλουν να σηκώσουν το βάρος της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η Ευρώπη έδειξε τη θέλησή της για εντατικοποίηση των προσπαθειών, παρά τα μη ικανοποιητικά αποτελέσματα μέχρι τότε.

Δεκέμβριος 1997: Κιότο, Ιαπωνία. Συμμετείχαν 160 χώρες, υπογράφηκε το *Πρωτόκολλο του Κιότο* για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ από τις αναπτυγμένες χώρες. Η Ε.Ε. δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% από τα επίπεδα του 1990 στο διάστημα 2008-2012. Οι στόχοι για τις ΗΠΑ ήταν η μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 7% από τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2008-2012, αν και έχει δηλώσει ότι δεν πρόκειται να επικυρώσει το Πρωτόκολλο.

Νοέμβριος 1998: Μπουένος Άιρες, Αργεντινή - η συνάντηση των τεσσάρων μερών. Στο μέλλον για σταθεροποίηση των αερίων του θερμοκηπίου απαιτείται συναίνεση των αναπτυσσόμενων μερών. «Πίστωση» (credit) για το CO₂. Ανταλλαγή πίστωσης μεταξύ διαφόρων χωρών.

Νοέμβριος 2000: Χάγη. Πλήρης αποτυχία στη θέσπιση μέτρων από τις αναπτυγμένες χώρες για δραστική μείωση των εκπομπών.

Η συνθήκη του Κιότο έχει επικυρωθεί από το Ευρωκοινοβούλιο και από την Ελληνική Βουλή, καθώς και από περισσότερες από 180 χώρες (Σεπτ. 2008), που είναι υπεύθυνες για το 55% των εκπομπών CO₂. (Με το Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ Α 117) η Ελληνική Βουλή επισημοποίησε τη δέσμευση της χώρας για δράσεις που αντιστρατεύονται την τάση επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.) Δεν έχει επικυρωθεί από τις Η.Π.Α., οι οποίες είναι γενικά αντίθετες σε αυτό το πρωτόκολλο και την Αυστραλία (προβληματίζεται για τα αποθέματα γαιάνθρακα που διαθέτει).

Δεκέμβριος 2005: Διάσκεψη του ΟΗΕ για το Κλίμα, στο Μόντρεαλ του Καναδά. Εκατόν ογδόντα εννέα χώρες συμφώνησαν να έχουν για τα επόμενα δύο χρόνια ανεπίσημες συζητήσεις με θέμα «τη μακροπρόθεσμη συνεργασία για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών».

Πολιτικές που απαιτούνται

- Πρωταρχικό βήμα αποτελεί η εξάλειψη των έμμεσων επιδοτήσεων της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων με τη μη φορολόγησή τους για το περιβαλλοντικό κόστος (φόρος CO₂ – carbon tax).

- Η αφαίρεση των επιδοτήσεων θα έδινε στους καταναλωτές κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας και για την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων με αποτέλεσμα τη μείωση σε σύντομο χρονικό διάστημα κατά 4-18 % των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.
- Η τιμή της ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα θα έπρεπε να αντανακλά το συνολικό κοινωνικό κόστος της χρήσης τους.
- Επιδοτήσεις στη χρήση και επιχορήγηση στην έρευνα σε εναλλακτικές λύσεις.
- Θέληση από τους πολιτικούς να λύσουν προβλήματα που δεν είναι βραχυπρόθεσμα και δεν επηρεάζουν άμεσα τις επόμενες εκλογές.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου θα πρέπει σχετικά γρήγορα να μειωθούν οι εκπομπές του CO₂ και των άλλων αερίων ρύπων κατά 30% (ή τουλάχιστον να παραμείνει σταθερό). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, μεταξύ άλλων, με την εξοικονόμηση ενέργειας, την ανάπτυξη αποδοτικότερων συσκευών και αυτοκινήτων, το φύτεμα και την ανάπτυξη φυτικών ειδών (ειδών που αναπτύσσονται γρήγορα), τη μερική δέσμευση των εκπομπών του CO₂ και την προώθηση της χρήσης **ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**. Ορισμένοι θεωρούν ότι και η πυρηνική ενέργεια μπορεί να συνδράμει στο στόχο αυτό με τη νέα γενιά πυρηνικών αντιδραστήρων και την ασφαλέστερη διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων.

Λιώνουν ταχύτατα οι «Αιώνιοι Πάγοι» στην Αρκτική...

BBC, 15-09-06

Με δραματικά γρήγορους ρυθμούς, πολύ ταχύτερους απ' ό,τι υπολόγιζαν μέχρι τώρα οι επιστήμονες, συρρικνώνονται οι πάγοι της Αρκτικής, ενισχύοντας τους κινδύνους για την εξαφάνιση μεγάλων χερσαίων εκτάσεων λόγω της επιταχυνόμενης υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Τη δυσοίωση αυτή εξέλιξη διαπίστωσαν Αμερικανοί ερευνητές, οι οποίοι μελέτησαν τη συρρίκνωση των πάγων του Αρκτικού Κύκλου κατά τη διετία 2004 - 2005 με τη βοήθεια δορυφόρων της NASA. Τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιεύθηκαν στο έγκυρο επιστημονικό περιοδικό *Geophysical Research Letters* και καταγράφουν μείωση του «μόνιμου» πάγου κατά 14% στο διάστημα της διετίας. Ο «μόνιμος» πάγος είναι το παχύ στρώμα που δεν επηρεάζεται από τις εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η καταγραφείσα συρρίκνωση αντιστοιχεί στην εξαφάνιση μιας έκτασης πάγου ανάλογης με εκείνη του Πακιστάν ή της Τουρκίας.

Η δραστική συρρίκνωση του αρκτικού πάγου μπορεί να οφείλεται, σύμφωνα με τους ερευνητές, σε ασυνήθιστους ανέμους κατά την τελευταία διετία, στην αύξηση της θερμοκρασίας ή σε συνδυασμό των δύο παραγόντων. Η αύξηση της θερμοκρασίας στον Αρκτικό Κύκλο υπολογίζεται ότι είναι διπλάσια του πλανητικού μέσου όρου. Τον Σεπτέμβριο του 2005, η έκταση της Αρκτικής που καλυπτόταν από πάγο ήταν η μικρότερη από το 1978, τη χρονιά που για πρώτη φορά κατέστησαν προσιτές στους επιστήμονες δορυφορικές μετρήσεις και απεικονίσεις. Ο «μόνιμος» ή «αιώνιος» πάγος είναι ένα στρώμα με πάχος που φτάνει τα τρία μέτρα και το οποίο διατηρείται άθικτο τουλάχιστον για ένα καλοκαίρι. Διαφέρει από τον «εποχικό» πάγο που είναι λεπτότερος και λιώνει πιο εύκολα, με αποτέλεσμα να διατηρείται μόνο το χειμώνα και να εξαφανίζεται το καλοκαίρι.

Μείωση της τάξης του 14%

«Τα δεδομένα των προηγούμενων μετρήσεων έδειξαν συρρίκνωση του μόνιμου πάγου της τάξης του 6,4% έως 7,8% ανά δεκαετία. Ωστόσο, από το 2004 μέχρι το 2005 καταγράψαμε μείωση της τάξης του 14%, μια

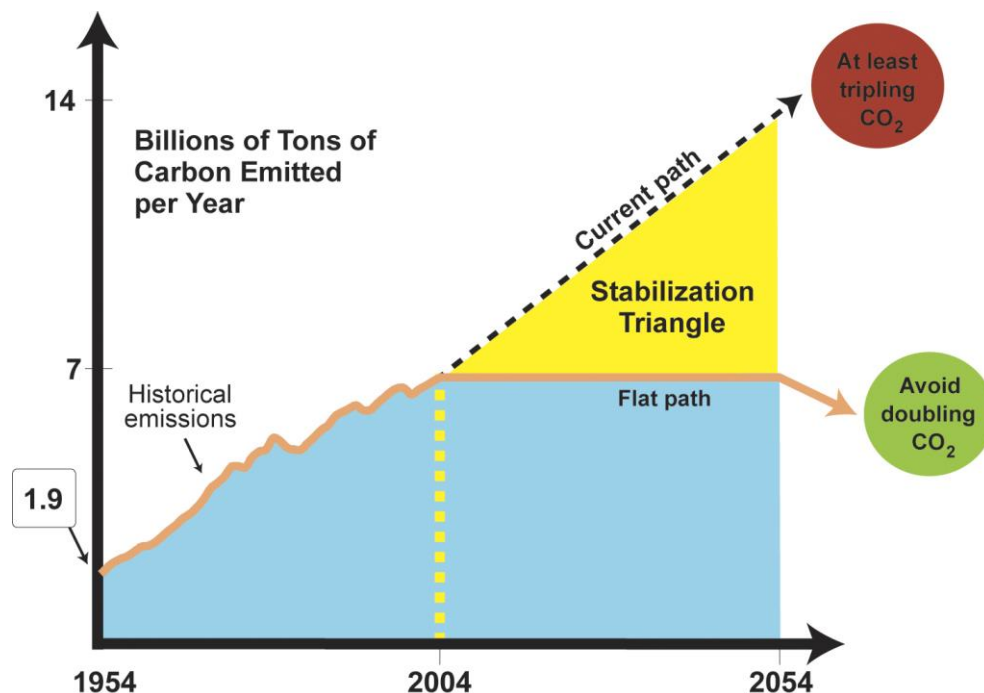
τεράστια συρρίκνωση μέσα σε ένα μόνο χρόνο», σημειώνει ο δρ Σον Νγκιέμ από το εργαστήριο της NASA στην Καλιφόρνια.

Αν συνεχισθούν αυτές οι τάσεις, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον δεν θα είναι ευχάριστες. Ο πάγος αντανάκλα την ηλιακή ακτινοβολία στο Διάστημα, ενώ τα νερά των ωκεανών την απορροφούν. Επομένως, ένας πλανήτης με λιγότερο πάγο θα θερμαίνεται πιο γρήγορα, φέρνοντας πιο κοντά τα απαισιόδοξα σενάρια για τις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πρόκειται για ένα αυτοτροφοδοτούμενο φαύλο κύκλο. Άλλη μια δραματική υπόμνηση της επείγουσας ανάγκης για λήψη μέτρων (όπως η εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο) που θα καταπολεμήσουν αποτελεσματικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Μερική Αντιμετώπιση - Δέσμευση των εκπομπών CO₂

1) Σταθεροποίηση με δέσμευση των προϊόντων της καύσης, διεργασία κατά την οποία απαιτείται τουλάχιστον 20% περισσότερη ενέργεια. Πρόβλημα ο διαχωρισμός CO₂/N₂ (καύση με καθαρό O₂). Μέθοδοι δέσμευσης είναι:

- χημική προσρόφηση (ΜΕΑ, μονοαιθαλοναμίνη)
- διαχωρισμός με μεμβράνες
- κρυογονική κλασματοποίηση
- διαχωρισμός με μοριακά κόσκινα



Σχήμα 2.7. Οι εκπομπές του CO₂ αναμένεται τουλάχιστον να διπλασιαστούν τα επόμενα 50 χρόνια και απαιτούνται μέτρα για την σταθεροποίησή τους (πηγή: <http://www.princeton.edu/pr/news/04/q3/0812-carbon.htm>).

2) Άμεσες χρήσεις για παραγωγή χρήσιμων προϊόντων με καταλυτική μετατροπή σε CH₄



(2.1)

Προς το παρόν βέβαια αποτελεί δαπανηρή μέθοδο και διερευνάται μόνο ερευνητικά κυρίως στην Ιαπωνία.

- 3) Αποθήκευση σε κλίνες άνθρακα, σε θόλους άλατος, σε παλιούς ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου και σε βαθιούς «αλμυρούς» υδροφόρους ταμειυτήρες (όπως το νορβηγικό πρόγραμμα στο Sleipner).
- 4) Απευθείας δέσμευση σε μεγάλα βάθη (>3000 m) στους ωκεανούς, όπου εκτιμάται ότι μπορούν να διατηρηθούν για τουλάχιστον 500 χρόνια.
- 5) Βιολογική μετατροπή με μικροοργανισμούς.

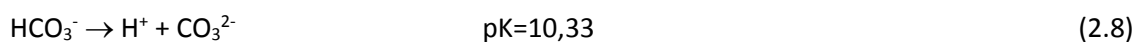
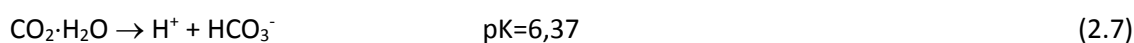
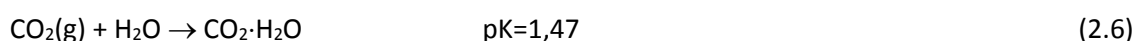
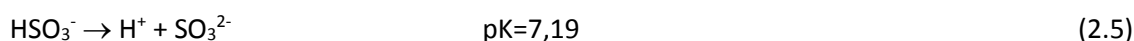
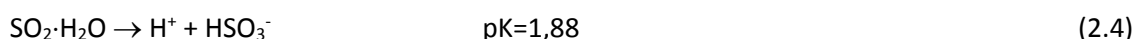
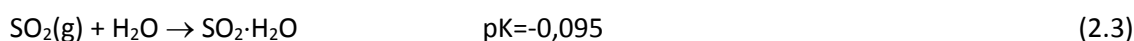
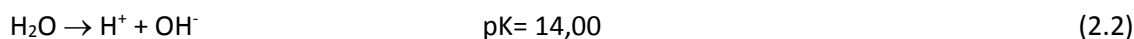
2.4 Όξινη Απόθεση

«Όξινη βροχή» είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον όξινο χαρακτήρα του νερού της ατμόσφαιρας. Ο όρος επινοήθηκε το 1872 από τον Σκωτσέζο χημικό Robert Angus Smith (1817-1884) για να περιγράψει την όξινη απόθεση στο Μάντσεστερ της Αγγλίας. Προέρχεται βασικά από τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και αμμωνίας. Ένας περισσότερο ακριβής όρος είναι η **όξινη απόθεση** (acid deposition), η οποία αποτελείται από δύο μέρη, την υγρή και την αέρια απόθεση. Η υγρή απόθεση αναφέρεται στην όξινη βροχή, ομίχλη και χιόνι. Καθώς το όξινο νερό πέφτει στη γη επιδρά στα φυτά, τα υλικά (π.χ. Σχήμα 2.8) και τον άνθρωπο. Οι επιπτώσεις από την όξινη βροχή εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το pH του όξινου νερού, τη χημεία και τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους και των επιφανειακών νερών, τα είδη των ψαριών, δένδρων και όλων των οργανισμών που εξαρτώνται από το νερό. Η αέρια απόθεση αφορά όξινα αέρια και σωματίδια. Ο αέρας μεταφέρει τα όξινα αέρια και τα σωματίδια σε κάθε επιφάνεια. Στα πρώτα στάδια μιας βροχής το νερό παρασύρει την αέρια απόθεση κάνοντας το νερό περισσότερο όξινο.

Στη φύση υπάρχει (ή μάλλον υπήρχε) μία ισορροπία: η οξείδωση και η αναγωγή των διαφόρων ουσιών συνοδεύονται από την απελευθέρωση και την κατανάλωση πρωτονίων (H^+), αντίστοιχα. Οι οξειδωτικές αντιδράσεις κατά την καύση του άνθρακα, του θείου και του αζώτου ξεπερνούν τις αναγωγικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την καθαρή παραγωγή H^+ στην ατμόσφαιρα και τη μεταφορά των πρωτονίων αυτών στην επιφάνεια της γης και στους υδάτινους ταμειυτήρες.

Οξείδια του θείου

Για το σύστημα $CO_2-SO_2-H_2O$ οι σχετικές χημικές αντιδράσεις και οι αντίστοιχες σταθερές ισορροπίας είναι:





Σχήμα 2.8. Φθορά μαρμάρου από έκθεση σε όξινο περιβάλλον: Η ίδια Καρυάτιδα το 1950 (αριστερά) και το 1970. (πηγή: Σκουλικίδης, 2000).

όπου pK οι σταθερές ισορροπίας σε υδατικό διάλυμα. Με τη χρήση των παραπάνω αντιδράσεων μπορούν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των ειδών που βρίσκονται διαλυμένα σε καθαρό νερό σε ισορροπία με CO_2 της ατμόσφαιρας σε συγκέντρωση 342 ppm και SO_2 σε συγκέντρωση (A) μηδενική, (B) 0,3 ppb (καθαρή εξοχική περιοχή), (C) 3 ppb (ελαφρά ρυπασμένη εξοχική περιοχή ή καθαρή αστική περιοχή), (D) 30 ppb (ρυπασμένη αστική περιοχή) και (E) 1600 ppb (εξαιρετικά ρυπασμένη περιοχή). (ppb είναι τα μέρη στο δισεκατομμύριο.) Για τόσο αραιά διαλύματα οι συντελεστές ενεργότητας μπορούν να θεωρηθούν μηδέν. Οι υπολογιζόμενες τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2.9.

Είναι φανερό ότι η επίδραση του CO_2 στην οξύτητα του νερού της βροχής, ακόμα και σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι αμελητέα σε σύγκριση με την οξύτητα από το SO_2 ακόμα και σε μικρές περιεκτικότητες. Για μηδενική συγκέντρωση SO_2 , το pH (ορισμός της όξινης βροχής στο Σχήμα 2.9) του αποσταγμένου νερού (και του βρόχινου) ρυθμίζεται στο 5,66 από το CO_2 της ατμόσφαιρας. Σε μέτρια ρυπασμένη πόλη, όπου η ατμόσφαιρα περιέχει 30 ppb SO_2 και 342 ppm CO_2 , το pH φτάνει το 4,66.

Οξείδια του αζώτου

Πηγές των NO και NO_2

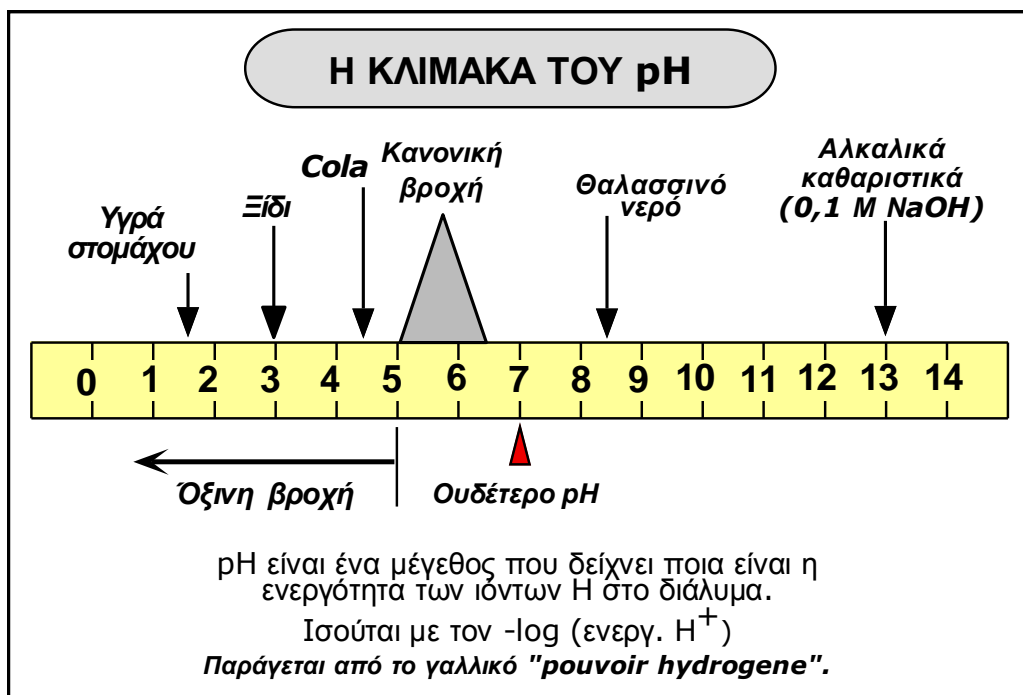
Σε αραιοκατοικημένες περιοχές τα οξείδια του αζώτου προέρχονται από φυσικές παρά από ανθρωπογενείς πηγές, όπως κατά τη διάρκεια κεραυνών ή από το έδαφος και το θαλασσινό νερό. Σε αστικά κέντρα παράγονται από τις καύσεις διαφόρων υλών (από το περιεχόμενο στα καύσιμα άζωτο

και λόγω της καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες) και από τις εκπομπές των οχημάτων. Οι συγκεντρώσεις των NO και NO₂ εκεί φτάνουν τα 500 ppb ενώ στις εξοχικές περιοχές μόλις το 1 ppb.

Πίνακας 2.9. Συγκεντρώσεις ισορροπίας ειδών σε μορφή διαλυμένη σε καθαρό νερό το οποίο είναι σε ισορροπία με τα αέρια CO₂ και SO₂. Οι συγκεντρώσεις των αερίων δίνονται σε ppb ή ppm, ενώ των διαλυμένων ειδών σε pC (-log της συγκέντρωσης) και υπολογίζονται από τις σταθερές ισορροπίας των αντιδράσεων 1-7. Οι συντελεστές ενεργότητας θεωρούνται μονάδα.

	A	B	C	D	E	F
CO ₂ (g) /ppm	0	342	342	342	342	342
SO ₂ (g) /ppb	0,3	0	0,3	3	30	1600
[SO ₂ ·H ₂ O]	9,43	0	9,43	8,43	7,43	5,71
[HSO ₃ ⁻]	5,65	0	5,80	5,15	4,65	3,79
[SO ₃ ²⁻]	7,18	0	7,48	7,18	7,18	7,18
[CO ₂ ·H ₂ O]	0	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
[HCO ₃ ⁻]	0	5,65	5,80	6,15	6,65	7,51
[CO ₃ ²⁻]	0	10,32	10,62	11,32	12,32	14,04
pH	5,66	5,66	5,51	5,16	4,66	3,80

(A), (B), (C) : καθαρή εξοχική περιοχή
 (D): καθαρή αστική περιοχή ή ελαφρά ρυπασμένη εξοχική περιοχή
 (E): ρυπασμένη αστική περιοχή
 (F) : εξαιρετικά ρυπασμένη περιοχή



Σχήμα 2.9. Η κλίμακα του pH και ο ορισμός της όξινης βροχής.

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή των οξειδίων από τις βιομηχανικές μονάδες μειώθηκε ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε από τη χρήση ηλεκτρικών μηχανών, κινητήρων και αγωγών για τη μεταφορά

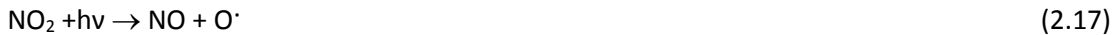
φυσικού αερίου. Η ετήσια παραγωγή NO και NO₂ στις ΗΠΑ το 1950 (από ανθρωπογενείς πηγές) ήταν 9 δις kg ενώ το 1990 ξεπέρασε τα 25 δις kg.

Οι σημαντικότερες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις για τα οξείδια του αζώτου είναι:



όπου RH και RCHO είναι οργανικά αλκάνια και αλδεύδες αντίστοιχα.

Στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ατομικό οξυγόνο σχηματίζεται από την φωτοαναγωγή του NO₂



Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας το NO₂ μετατρέπεται σε NO, απελευθερώνοντας ελεύθερες ρίζες οξυγόνου οι οποίες ενώνονται με το O₂ για το σχηματισμό του O₃:



(το M είναι N₂ ή O₂). Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρούνται τις απογευματινές ώρες τους καλοκαιρινούς μήνες. Κατά τη διάρκεια της νύχτας το O₃ αντιδρά με το NO και σχηματίζει ξανά NO₂, σύμφωνα με την αντίδραση 10.

Η παραγωγή του όζοντος, όπως περιγράφεται προηγουμένως, μπορεί να μειωθεί αν μειωθεί η διαθέσιμη συγκέντρωση των NO και NO₂ καθώς αυτά καταναλώνονται σύμφωνα με τις αντιδράσεις 10-15 για να δώσουν HNO₃. Επίσης το παραγόμενο όζον οξειδώνει εύκολα το NO (αντίδραση 8) παρουσία οργανικών όπως αλκάνια, αλδεύδες και αρωματικές ενώσεις.

Στάδια γένεσης της όξινης βροχής

- Παραγωγή οξειδίων (φυσικών και ανθρωπογενών), όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.10.
- Απορρόφηση των οξειδίων (σε αέρια ή στερεή φάση) στο νερό (νέφη, βροχή, ομίχλη, χιόνι)
- Αλληλεπίδραση των παραγόμενων οξέων (SO₂, H₂O, H₂SO₄, HNO₃) με την αμμωνία και τα ανθρακικά άλατα.
- «Καθαρισμός» και μερική διαλυτοποίηση των αερολυμάτων στο νερό

Εναπόθεση των οξέων: «ξηρή» εναπόθεση (μεταφορά χωρίς τη μεσολάβηση νερού, εναπόθεση στερεών σωματιδίων) και «υγρή» εναπόθεση (μεταφορά μέσω ομίχλης, βροχής, χιονιού). Περίπου το ½ της απόθεσης γίνεται με την υγρή εναπόθεση.

Προέλευση των οξειδίων

Οξείδια του θείου

Προέρχονται από την καύση στερεών καυσίμων (κυρίως πετρελαίου και άνθρακα) και τα αέρια αυτά είναι υπεύθυνα για τα ~2/3 της οξύτητας της ατμόσφαιρας. Το 64% της συνολικής ποσότητας

του SO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα εκπέμπεται από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (βλ. επίσης Σχήμα 2.10). Υπάρχουν τεχνικές για τη δέσμευση αυτών των ρυπαντών και μερικές από αυτές συζητιούνται στο Κεφάλαιο 3.

Πρωτογενείς ρυπαντές: SO₂, SO₃ (SO₂ + SO₃ =SO_x), H₂S

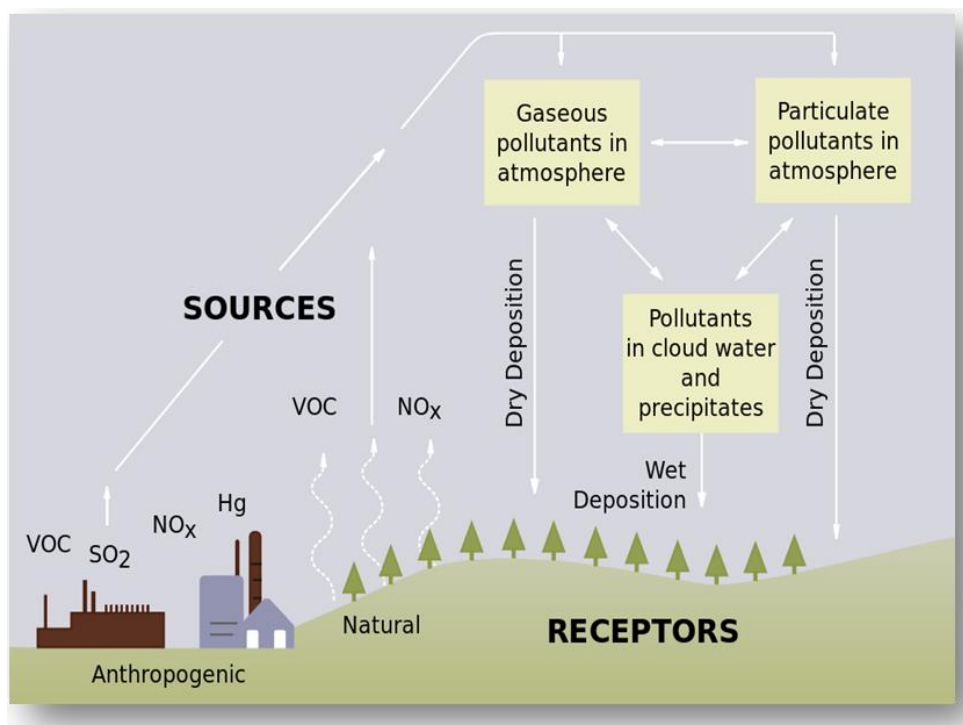
Δευτερογενείς ρυπαντές: H₂SO₄, MSO₄ (π.χ. (NH₄)₂SO₄, CaSO₄, MgSO₄)

Οξείδια του αζώτου, NO_x

Προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές των αυτοκινήτων. Το 1/4 των NO_x προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση συμβατικών καυσίμων και κυρίως άνθρακα. Συνεισφέρουν κατά ~1/3 στην οξύτητα της ατμόσφαιρας. Οι εκπομπές «θερμικών» NO_x μπορούν να μειωθούν με τη μείωση της θερμοκρασίας της καύσης.

Πρωτογενείς ρυπαντές: NO, NH₃, (NO+NO₂=NO_x)

Δευτερογενείς ρυπαντές: NO₂, HNO₃ (g), MNO₃



Σχήμα 2.10. Το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) συνενώνονται με μόρια νερού και σχηματίζονται θειικό και νιτρικό οξύ.

Υδροχλωρικό οξύ, HCl

Προέρχεται κυρίως από την καύση και την αποσύνθεση οργανοχλωριωμένων ενώσεων, μεταξύ των οποίων και πολλών πολυμερικών ουσιών.

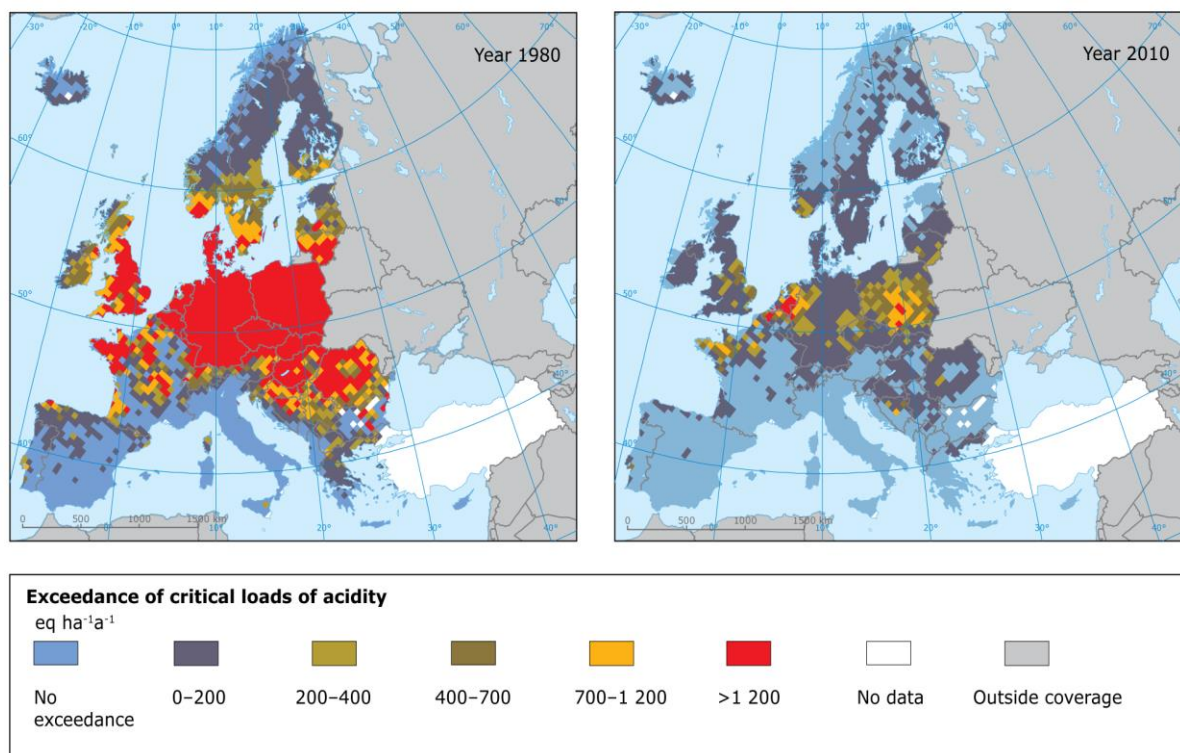
Φυσική οξύτητα

Προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως από τα ηφαίστεια.

Βάσεις

Προέρχονται συνήθως από την αιωρούμενη σκόνη.

Τα οξείδια (και άλλοι ρυπαντές) μπορούν να μεταφερθούν μέχρι και 1000 km και έτσι μπορούν να πληγούν περιοχές χωρίς ιδιαίτερες εκπομπές των ρύπων (Βορειανατολική Αμερική, Κεντρική Ευρώπη και Σκανδιναβία). Η φόρτιση των εδαφών της Ευρώπης σε οξύτητα μειώνεται σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες και παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.11. Ο ρυθμός απόθεσης των ρυπαντών εξαρτάται από: (α) τη φύση ρυπαντή (τύπος, κατανομή μεγέθους), (β) το τυρβώδες πεδίο της ατμόσφαιρας και (γ) τα χαρακτηριστικά επιφάνειας-δέκτη (νερό, φυτό, μνημείο). Τα οξέα στην ομίχλη μπορεί να είναι 10-50 φορές περισσότερα από ότι στη βροχή. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα αναφορικά με την οξίνιση του εδάφους και των νερών. Μόνο το 25% των δειγμάτων βροχής είναι κάτω από pH 5,0, αλλά και η σύσταση των εδαφών της χώρας μας κάνει σχεδόν αδύνατη την προσβολή από την όξινη βροχή. Βεβαίως, η επίδραση της όξινης απόθεσης στα μαρμάρινα μνημεία της χώρας μας είναι ιδιαίτερα επιβλαβής.



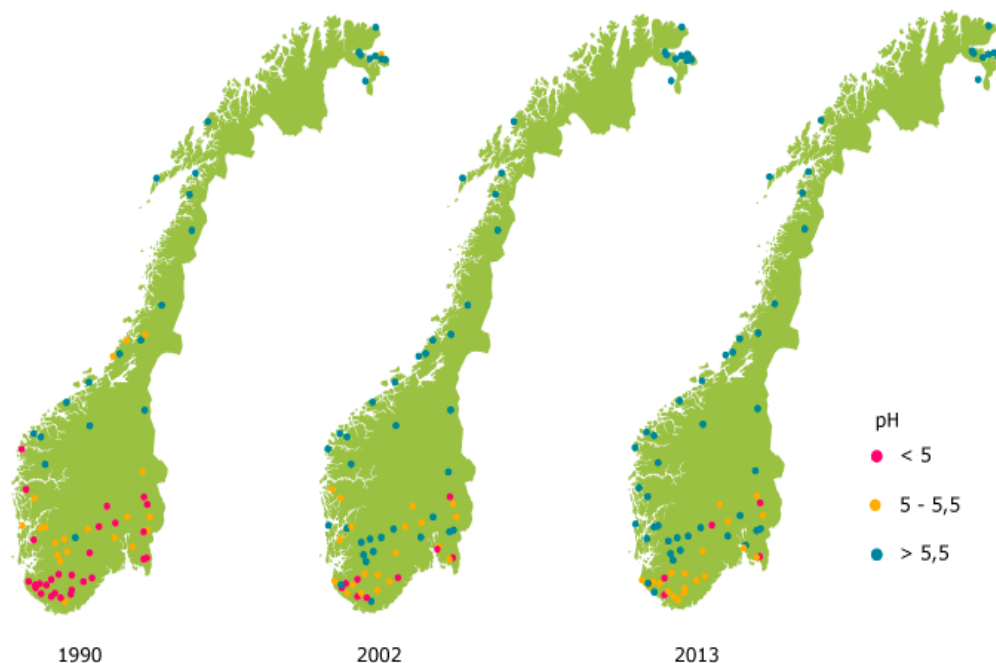
Σχήμα 2.11. Φόρτιση των εδαφών της ΕΕ με οξύτητα το 1980 και το 2010.

Επίδραση της όξινης βροχής

- Μείωση του pH των νερών σε ποτάμια, λίμνες, ρυάκια. Διαπιστώθηκε πρώτη φορά στη δεκαετία του 50 από την εξαφάνιση ψαριών σε λίμνες της Σκανδιναβικής Χερσονήσου (Σχήμα 2.12).
- Στα δέντρα και τη βλάστηση (λειχήνες, μύκητες κ.α.) οι επιπτώσεις είναι ιδιαίτερα σοβαρές σε $\text{pH} < 5,1$. Στα δάση οι κύριες επιπτώσεις είναι η μικρότερη αύξηση των δένδρων, η μείωση του φυλλώματος, οι τραυματισμοί, και τελικά ή ολική καταστροφή των δένδρων. Εκτιμάται ότι ένα στα τέσσερα δένδρα στην Ευρώπη έχουν πάθει κάποιας μορφής βλάβη από την όξινη απόθεση.
- Στην υγεία των ανθρώπων είτε άμεσα (με επίδραση στο αναπνευστικό σύστημα) ή έμμεσα από την τροφική αλυσίδα.

- Στους υδρόβιους οργανισμούς για $pH < 5,5$ (ιδιαίτερα ευαίσθητοι είναι οι μικροί υδρόβιοι οργανισμοί).
- Η όξινη βροχή έχει επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα ορισμένων ειδών γιατί διαλυτοποιεί και χάνονται από τα έδαφος ορισμένα θρεπτικά συστατικά. Συγχρόνως, μπορεί να διαλυτοποιήσει ορισμένα μέταλλα που μπορεί να είναι τοξικά σε ορισμένους μικροοργανισμούς, πουλιά και ζώα.
- Στα υλικά προκαλείται διάβρωση των μεταλλικών υλικών, φθορά ορισμένων δομικών υλικών (πέτρας, κονιαμάτων) και κυρίως των πολιτιστικών μνημείων (διαλυτοποίηση, γυψοποίηση) και καταστροφή προστατευτικών επικαλύψεων.
- Μείωση ορατότητας. Σε ατμοσφαιρική συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου 0,1 ppm η ορατότητα μειώνεται στα 8 χιλιόμετρα.

→ pH trends in lakes from 1990 to 2013



SOURCE: Norwegian Institute for Water Research 2014 / environment.no

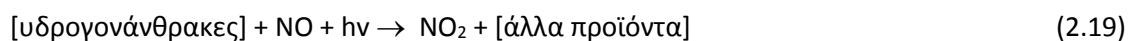


Σχήμα 2.12. Μείωση της οξύτητας των λιμνών στην Νορβηγία (επάνω) και (κάτω) ψεκασμός οξειδίου του ασβεστίου σε λίμνη στην Νορβηγία για μείωση της οξύτητας (<http://www.environment.no/Topics/Air-pollution/Acid-rain/>)

2.5. Αιθαλομίχλη – Φωτοχημικό Νέφος (smog)

Το φωτοχημικό νέφος (ή νέφος του Los Angeles) είναι η «καφετιά-υποκίτρινη» ομίχλη που ρυπαίνει τις πόλεις, ιδίως τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Το κυριότερο συστατικό αυτού του νέφους είναι το όζον. Το είδος αυτό του νέφους δεν πρέπει να συνδέεται με το όξινο νέφος που οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις SO₂ (νέφος του Λονδίνου).

Το φαινόμενο οφείλεται κυρίως στις εκπομπές των NO_x (μαζί με πτητικές οργανικές ουσίες, κυρίως άκαυστους υδρογονάνθρακες), τα οποία προέρχονται κυρίως από τις εκπομπές των αυτοκινήτων (Πίνακας 2.10). Αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, που πλήττει κυρίως μεγάλες, ηλιόλουστες πόλεις με θερμό και ξηρό κλίμα. Απλουστευτικά οι κυριότερες αντιδράσεις μπορεί να γραφούν ως εξής:



Καφετί-κίτρινο
χρώμα

Εκτός από το όζον (Σχήμα 2.13), άλλα οξειδωτικά που παράγονται είναι τα PANs (CH₃CO₃NO₂) και οι αλδεΐδες (RCHO, όπου R είναι μια ρίζα υδρογονάνθρακα, όπως η μεθυλική, CH₃). Το ενδιάμεσο προϊόν NO₂ δίνει το καφετί χρώμα στην ατμόσφαιρα. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η παρουσία CO και CH₄, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη είναι και η παραγωγή του όζοντος. Τα προϊόντα του νέφους ερεθίζουν τα μάτια και επιδρούν αρνητικά στο αναπνευστικό σύστημα. Οι διάφοροι υδρογονάνθρακες έχουν σημαντικά διαφορετικό δυναμικό να δημιουργήσουν νέφος. Για παράδειγμα, το μεθάνιο δεν είναι καθόλου δραστικό, σε αντίθεση με το αιθυλένιο (C₂H₄) και το προπυλένιο (C₃H₆).

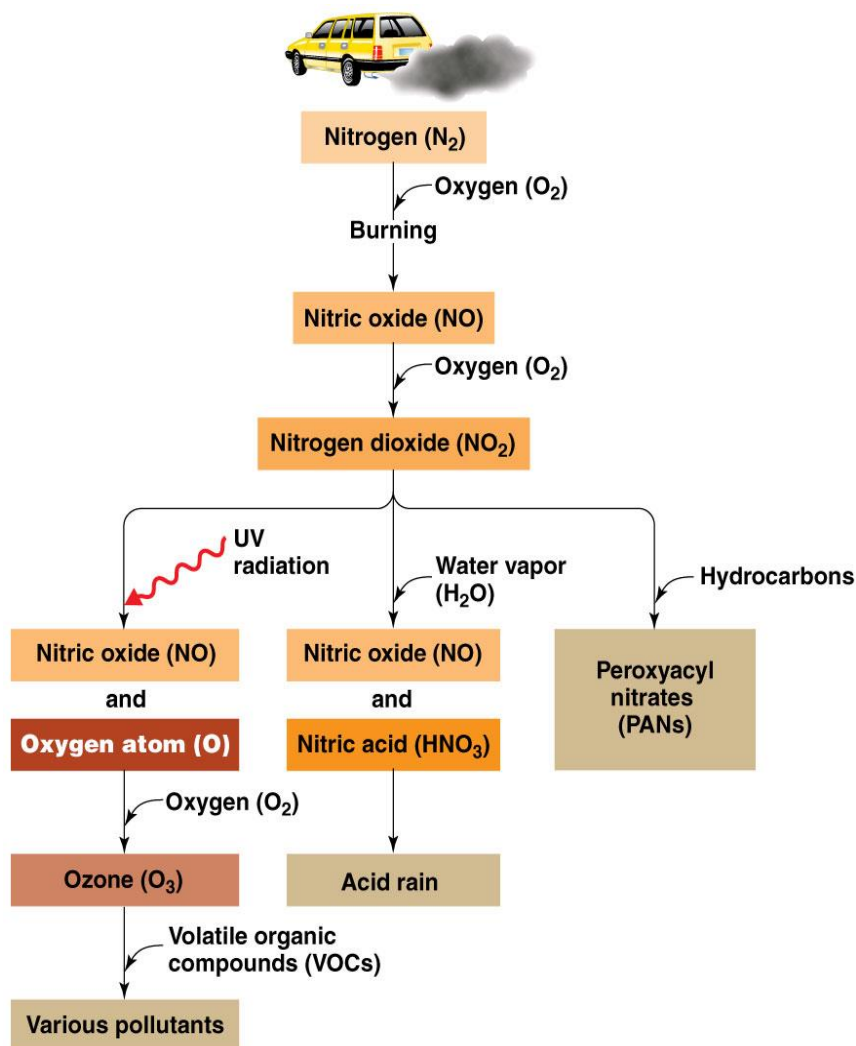
Πίνακας 2.10. Οι κυριότεροι ρύποι που είναι υπεύθυνοι για το φωτοχημικό νέφος.

Συστατικά	Ρυπασμένη περιοχή (μg/m ³)	Μη-Ρυπασμένη περιοχή (μg/m ³)
CO	10,000-30,000	<200
NO	100-400	<20
HC (excluding CH ₄)	600-3,000	<300
O ₃	50-150	<5
PANs	50-250	<5

Most values are estimates based on data in Air Quality in Ontario 1991, Environment Ontario, Queen's Printer for Ontario; 1992

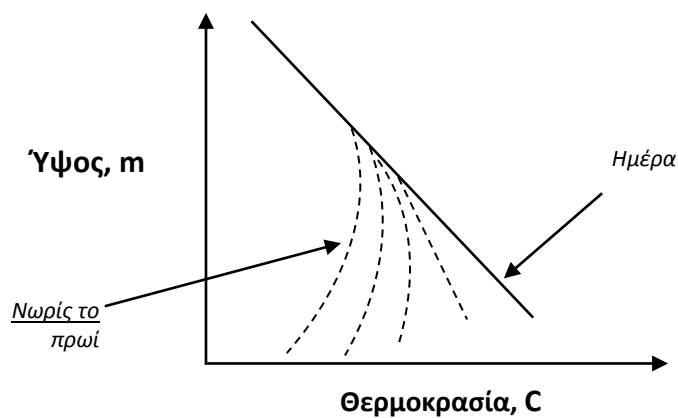
Θερμοκρασιακή αναστροφή

Υπάρχουν διάφορες αιτίες για τη δημιουργία θερμοκρασιακής αναστροφής. Η συνηθέστερη είναι η αναστροφή λόγω της ακτινοβολίας της γης. Κανονικά η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας μειώνεται κατά ~7°C ανά 1000 m ύψος. Κατά τη διάρκεια μιας ξηρής νύχτας, η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία και ψύχεται, δημιουργώντας κάποια θερμοκρασιακή αναστροφή (σε ύψος μικρότερο από 500 m).



(a) Formation of photochemical smog

Σχήμα 2.13. Σχηματισμός του φωτοχημικού νέφους.



Σχηματισμός θερμοκρασιακής αναστροφής.

Κατά το λυκαυγές, η αναστροφή γίνεται ισχυρότερη. Με το ήλιο, η γη θερμαίνεται και αποκαθίσταται η φυσική μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος στην κατώτερη ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη μείωση της επίδρασης του νέφους μετά το μεσημέρι.

2.6. Θερμική Ρύπανση

Θερμική ρύπανση είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ή του νερού από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, άμεσες ή έμμεσες. Η θερμική ρύπανση του αέρα σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και την απόρριψη θερμότητας στην ατμόσφαιρα από διάφορες δραστηριότητες. Περισσότερο σοβαρή όμως και με άμεσες συνέπειες είναι η θερμική ρύπανση των νερών, με την απελευθέρωση ποσοτήτων ενέργειας με τη μορφή ραδιενεργού ακτινοβολίας και θερμότητας σε λίμνες, ποτάμια και ωκεανούς σε τέτοιο βαθμό που να επιδρούν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η μεταβολή της θερμοκρασίας των υδάτινων όγκων γίνεται βεβαίως σε κάποιο βαθμό φυσικά, με την αλλαγή των εποχών. Εκείνο που ανησυχεί είναι οι αλλαγές της θερμοκρασίας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η θερμική ρύπανση των νερών προκαλείται κυρίως από τη διάθεση θερμών νερών που χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα ψύξης θερμικών και πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και άλλων βιομηχανιών. Άλλες πηγές θερμικής ρύπανσης είναι η διάβρωση του εδάφους και η αποδάσωση κοντά στις ακτές (λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από το θολό νερό), οι οποίες είναι έμμεσες πηγές, και οι αποστραγγίσεις νερών από κτήρια και ασφαλτοστρωμένους δρόμους και πεζοδρόμια, τα οποία γίνονται θερμότερα από το έδαφος.

Η αυξημένη θερμοκρασία των νερών μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, επιδρά στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγική διαδικασία πολλών υδάτινων ειδών, μπορεί να προκαλέσει ασθένειες ακόμη και το θάνατο ψαριών λόγω του θερμικού αιφνιδιασμού (thermal shock) και επιδρά στη χλωρίδα των οικοσυστημάτων (με την είσοδο νέων ειδών και με την αύξηση ορισμένων φυκών και τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών). Συγχρόνως τα θερμά ρεύματα νερού περιέχουν συχνά ρυπαντές που επιδρούν άμεσα στο υδάτινο οικοσύστημα. Βεβαίως, μερικοί υποστηρίζουν, και είναι σωστό σε ορισμένες περιπτώσεις, ότι το θερμό νερό μπορεί να είναι ευεργετικό (thermal enrichment). Για παράδειγμα, καλλιέργειες που κινδυνεύουν να παγώσουν τη νύχτα μπορούν να ψεκαστούν με θερμό νερό, ενώ μπορεί να βοηθηθεί η ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών. Προφανώς, τα αρνητικά αποτελέσματα υπερτερούν κατά πολύ των θετικών.

2.7. Ενέργεια και Άλλες Μορφές Ρύπανσης

- Επιφανειακά ορυχεία: ανοικτές «πληγές», σκόνη, θόρυβος. Απαιτείται να γίνει ανάπλαση του χώρου.
- Καθιζήσεις και πλημμύρες σε υπόγεια ορυχεία.
- Διυλιστήρια: οπτική ρύπανση, οσμές, κίνδυνος εκπομπής τοξικών ουσιών, κίνδυνος εκρήξεων και πυρκαγιάς κ.ά.
- Ατμοηλεκτρικές μονάδες: οπτική ρύπανση, οσμές, τοπική αλλαγή του κλίματος από τη θερμική ρύπανση και την υγρασία από τους πύργους ψύξης κ.ά.
- Μεταφορά πετρελαίου: κυρίως με θαλάσσια μέσα

- Μεταξύ 1970 και 1986: 186 μεγάλες διαρροές πετρελαίου από πλοία
- 1989: “Eκxon Valdez”, Αλάσκα, 39.000 τόνοι αργού πετρελαίου στη θάλασσα. Χωρίς να είναι η μεγαλύτερη διαρροή πετρελαίου, επηρεάστηκε σημαντικά το κοινό των Η.Π.Α.

Πετρελαιοκηλίδες μπορούν να προκληθούν από ατυχήματα σε **πετρελαιοφόρα δεξαμενόπλοια** και σε **εξέδρες** άντλησης πετρελαίου, από τον παράνομο καθαρισμό των δεξαμενών των πλοίων και την απόρριψη χρησιμοποιημένων λιπαντικών στη θάλασσα.

Το πετρέλαιο έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το νερό και για το λόγο αυτό επιπλέει στην επιφάνειά της θάλασσας. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο θα βρεθεί στη θάλασσα, αρχίζει μια αργή, φυσική διαδικασία οξειδωσης και βιοδιάσπασής του από μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να διασπούν υδρογονάνθρακες.



Prestige, Νοεμ. 2002

Οι πετρελαιοκηλίδες έχουν καταστρεπτική επίδραση στη χλωρίδα και την πανίδα σε μεγάλη έκταση γύρω από το σημείο όπου δημιουργήθηκαν, όπως επιπτώσεις στο πλαγκτόν, μαζικοί θάνατοι θαλάσσιων οργανισμών και πτηνών κτλ. Ορισμένα πουλιά πεθαίνουν από δηλητηρίαση λόγω κατάποσης πετρελαίου, ενώ συνήθως το φτέρωμά τους διαβρέχεται από το πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η θερμική τους μόνωση και τελικά να πεθαίνουν από εξάντληση και υποθερμία. Εκτός από τις καταστρεπτικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, σημαντικές είναι και οι δυσμενείς επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στην αλιεία και τον τουρισμό στις περιοχές που πλήττονται. Μερικές από τα σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες τα τελευταία 30 χρόνια καταγράφονται στον Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.11. Κυριότερες πετρελαιοκηλίδες σε κόσμο και Ελλάδα.

Αίτιο	Έτος	Περιοχή	Ποσότητα πετρελαίου (τόνοι)
Amoco Cadiz (πλοίο)	1978	Βρετάνη, Γαλλία	223.000
Ixtoc I (εξέδρα)	1979	Κόλπος Μεξικού	600.000
Independence (πλοίο)	1979	Κων/λη, Τουρκία	95.000
Atlantic Empress (πλοίο)	1979	Τρινιντάντ & Τομπάγκο	300.000
Nowruz (εξέδρα)	1979	Περσικός Κόλπος	600.000
Castillo de Belfer (πλοίο)	1983	Κεϊπ Τάουν, Ν. Αφρική	250.000
Eκxon Valdez (πλοίο)	1989	Αλάσκα	42.000
Πόλεμος του Ιρακ	1991	Περσικός Κόλπος	1.250.000
Aegean Sea (πλοίο)	1992	La Coruna, Ισπανία	85.000
Braer (πλοίο)	1993	Νησιά Shetlands	88.000
Sea Empress (πλοίο)	1996	Ουαλία, Η.Β.	70.000
Erika (πλοίο)	1999	Γαλλία	25.000
Prestige (πλοίο)	2002	Γαλικία, Β. Ισπανία	42.000
Μεσσηνιακή Φροντίς (πλοίο)	1979	Κρήτη	12.000
Irene’s Serenade (πλοίο)	1980	Πύλος	40.000
Iliad (πλοίο)	1993	Πύλος	1.000

2.8. Μείωση της Στιβάδας του Όζοντος

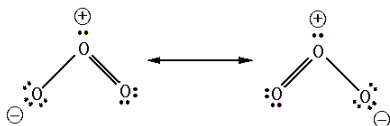
Το πρόβλημα της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος δεν προκαλείται άμεσα από το τομέα της ενέργειας. Επειδή όμως αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, θεωρήθηκε σκόπιμο να δοθεί μια σύντομη περιγραφή.

Το όζον (από το ρήμα «όζειν»), αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και είναι σχετικά σπάνιο στην ατμόσφαιρα, με μέση συγκέντρωση 3 μόρια όζοντος σε 10 εκατομμύρια μόρια αέρα (0,3 ppbv). Έχει ιδιάζουσα οσμή και είναι εκρηκτικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Αντιδρά έντονα και οξειδώνει πολλές ουσίες, ιδιότητα που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τελευταία σε διεργασίες καθαρισμού αερίων και απολύμανσης νερού.

Στρατόσφαιρα

- Στην Στρατόσφαιρα (Σχήμα 2.14) περιέχεται το περίπου το 99% του όζοντος της ατμόσφαιρας (το υπόλοιπο 1% βρίσκεται στην τροπόσφαιρα). Αν και είναι το ίδιο μόριο, ο ρόλος του σε κάθε στιβάδα είναι διαφορετικός.
- Πάχος του στρώματος του όζοντος: 27-42 km
- Στιβάδα όζοντος: 0,005 cm πάχος, αν το στρώμα αυτό ήταν στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Υπάρχει εδώ και 400 εκατομμύρια χρόνια και δημιουργείται με σειρά χημικών αντιδράσεων με την παρουσία φωτός. Για χρόνια, ο ρυθμός παραγωγής και ο ρυθμός καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος ήταν ίσοι.

Όζον, χημικός τύπος: O₃



Υπεριώδης ακτινοβολία (UV):

Ακτινοβολία <390 nm

UV-A: 315-390 nm

UV-B: 280-315 nm

(απορροφάται από το στρατοσφαιρικό όζον)

Ατμοσφαιρικές στιβάδες

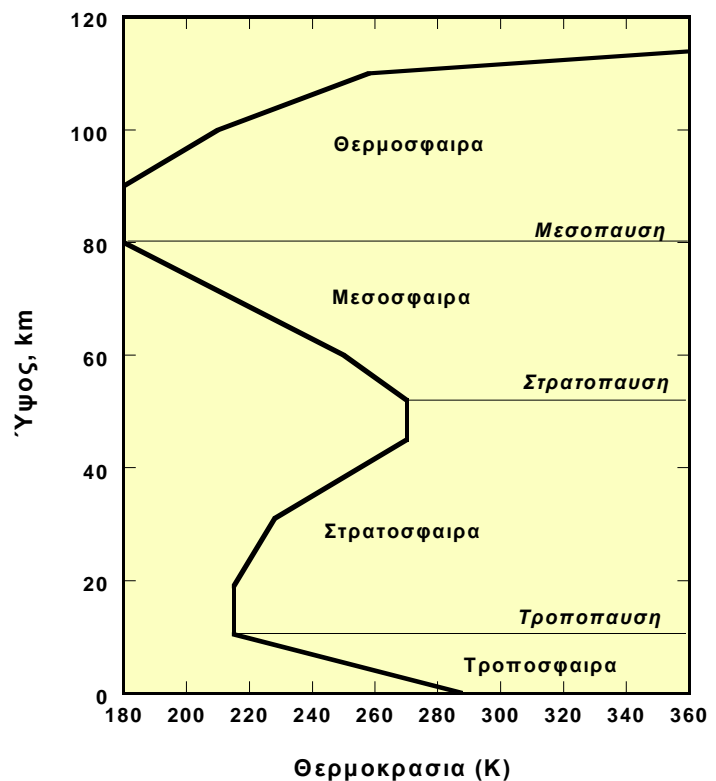
(οι αποστάσεις από τη γη δεν είναι σταθερές)

Τροπόσφαιρα: 0-15 km

Στρατόσφαιρα: 15-50 km

Μεσόσφαιρα: 50-90 km

Ιονόσφαιρα: 90-100 km



Σχήμα 2.14. Η ατμόσφαιρα αποτελείται από διάφορα στρώματα. Η περισσότερη υπεριώδης ακτινοβολία από τον ήλιο απορροφάται από το όζον (O₃) στην στρατόσφαιρα, το οποίο βρίσκεται κυρίως στην καλούμενη «ζώνη του όζοντος» και βρίσκεται 17-26 km από την επιφάνεια της θάλασσας.

Για τους χλωροφθοράνθρακες (chlorofluorocarbons, CFC's)

Βρίσκονται με το εμπορικό όνομα Freons (DuPont). Αντικατέστησαν το SO₂ και την αμμωνία (NH₃) ως ψυκτικά μέσα περίπου πριν από 60 χρόνια. Ορισμένοι χλωροφθοράνθρακες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.13.

Οι **χλωροφθοράνθρακες** είναι σχεδόν τα ιδανικά ρευστά για διάφορες εφαρμογές, αν δεν υπήρχε η βλαβερή επίδρασή τους στο στρατοσφαιρικό όζον! Τα CFC είναι σταθερά, άοσμα, μη διαβρωτικά, μη αναφλέξιμα, μη τοξικά και έχουν υψηλή θερμότητα εξάτμισης και βέλτιστη πίεση ατμού.

Οι κυριότερες χρήσεις των CFC είναι: ψυκτικά στα κλιματιστικά, καθαριστικά ηλεκτρονικών τμημάτων, προωθητικά σε σπρέι (σταμάτησαν ήδη από τη δεκαετία του 80 και μόνο σε αναπτυσσόμενες χώρες ίσως χρησιμοποιούνται τώρα), δημιουργία φυσαλίδων σε πολυστερενικά αφρώδη πλαστικά κ.α.

Πίνακας 2.13. Χημικοί τύποι και εμπορικά ονόματα CFC.

Χημικό όνομα	Τύπος	Εμπορικό όνομα
Τριχλωρο-φθορο-μεθάνιο	CCl ₃ F	CFC-11 (Freon-11)
Διχλωρο-διφθορο-μεθάνιο	CCl ₂ F ₂	CFC-12 (Freon-12)
χλωρο-διφθορο-μεθάνιο	CHClF ₂	CFC-22 (Freon-22)
1,1,2- Τριχλωρο -1,2,2-τριφθοροαιθάνιο	Cl ₂ FC ₂ ClF ₂	CFC-113 (Freon-113)

Άλλες πηγές αλογονωμένων μορίων στην ατμόσφαιρα αποτελούν τα Halons, ο τετραχλωράνθρακας (εξαιρετος μη-πολικός διαλύτης), το τριχλωροαιθάνιο (διαλύτης στο ξηρό καθάρισμα). Τέλος ορισμένες ποσότητες αλογονωμένων μορίων προέρχονται και από φυσικές πηγές, όπως πυρκαγιές δασών. Τα Halons που χρησιμοποιούνται βασικά σε πυροσβεστήρες περιέχουν βρώμιο. Αν και το βρώμιο αποτελεί μόνο το 1% των αλογονωμένων ουσιών είναι υπεύθυνο για το 1/3 της επίδρασης στο στρώμα του όζοντος.

Οι αναπτυσσόμενες χώρες είναι υπεύθυνες για περίπου το 84% των εκπομπών CFC, και μόνο οι ΗΠΑ αντιπροσωπεύουν το 25% της ολικής κατανάλωσης. Τα κλιματιστικά των αυτοκινήτων θεωρούνται υπεύθυνα για το 75% των εκπομπών στις ΗΠΑ. Μέχρι το 2000, 75 χώρες θα έπρεπε να είχαν σταματήσει εντελώς τη χρήση των CFC.

Υπόθεση για την Επίδραση του Όζοντος

Ο μηχανισμός επίδρασης του στρατοσφαιρικού όζοντος προτάθηκε αρχικά από τον H. S. Johnson στο Berkeley στη δεκαετία του 1960. Η θεωρητική ανάλυση του φαινομένου έγινε από δύο χημικούς, τον Sherwood Rowland και τον Mario Molina (Βραβείο Νόμπελ Χημείας) από το Πανεπιστήμιο του Irvine (Καλιφόρνια) το 1974.

Γιατί το Cl βλάπτει το Όζον

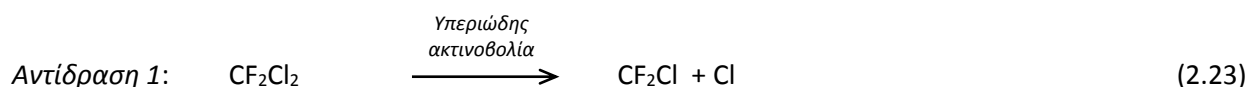
Πόσο μένει ένα CFC στην ατμόσφαιρα;

- 50-400 χρόνια !!

- Τα Freon χωρίς Η έχουν ζωή ~100 χρόνια (αυτά με Η έχουν μικρότερη ζωή και επομένως «καθαρίζονται» εύκολα με τη βροχή)
- Απαιτείται χρόνος για να φτάσουν στην στρατόσφαιρα
- Ένα άτομο Cl μπορεί να μετατρέψει 10.000 μέχρι 100.000 O₃ σε O₂ και O.
- Τα CH₃CCl₃ και CHClF₂ διαρκούν μόνο 6-7 χρόνια.

Μηχανισμός αποσύνθεσης του O₃

Τα CFC εκπέμπονται από τη γη από διάφορες πηγές και διασπείρονται με τους ανέμους και με άλλους μηχανισμούς κίνησης του αέρα (αν και είναι βαρύτερα από τον αέρα). Κατόπιν, μεταφέρονται στην ανώτερη Στρατόσφαιρα, όπου, με τη βοήθεια της υπεριώδους ακτινοβολίας τα «σταθερά» CFC μετατρέπονται σε δραστικά αέρια (χλώριο, Σχήματα 2.15-2.16).



Εν συνεχεία, τα δραστικά αέρια επιστρέφουν στην κατώτερη Στρατόσφαιρα, όπου και η μεγαλύτερη συγκέντρωση του O₃.



Άμεση καταστροφή του Όζοντος



Ένα (1) άτομο Cl καταστρέφει περίπου 10⁵ άτομα O₃

Γιατί υπάρχει τρύπα του O₃ πάνω από την Ανταρκτική;

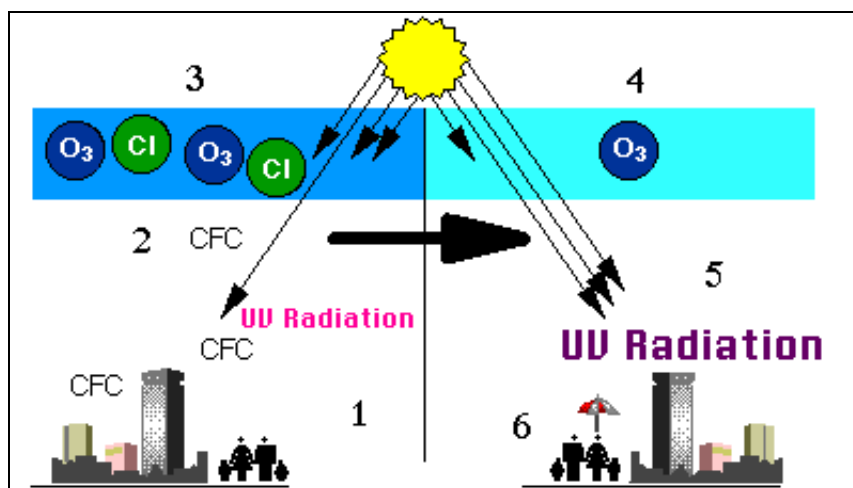
Επειδή επικρατούν εκεί ειδικές κλιματικές συνθήκες. Οι κρύσταλλοι του πάγου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα των πόλων προσροφούν τα CFCs και προσφέρουν την επιφάνεια τους για την αλληλεπίδραση του μορίου του O₃ (Σχήμα 2.17). Επιταχύνουν την αντίδραση (κατάλυση).

Επιπτώσεις της ακτινοβολίας UV

- * Στον άνθρωπο: Μελάνωμα, καταρράκτης στα μάτια (διπλασιάστηκαν τα επεισόδια τα τελευταία 30 χρόνια) κτλ.
- * Φυτά: επηρεάζει την ανάπτυξή τους
- * Φυτοπλαγκτόν: επηρεάζει τον προσανατολισμό του και την κινητικότητα του
- * Ψάρια: επιπτώσεις ιδιαίτερα στη μικρή ηλικία
- * Υλικά: επιπτώσεις στα πολυμερικά κυρίως υλικά

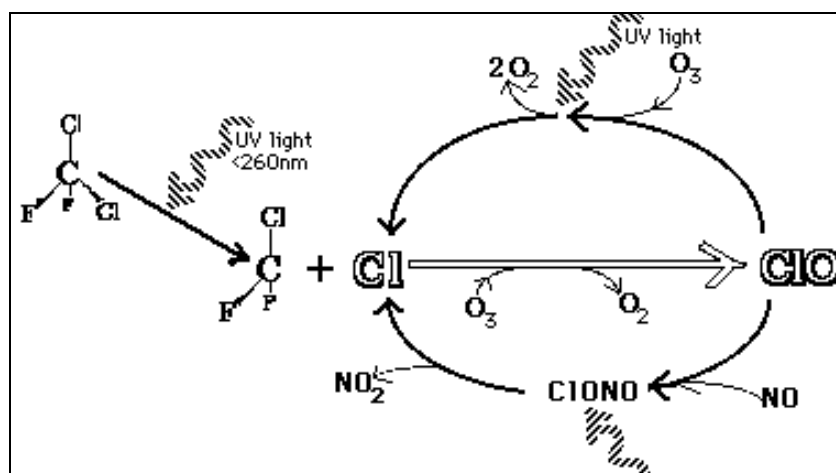
Μπορεί η τρύπα του O₃ να σταθεροποιηθεί;

- Επιπτώσεις θα παρουσιάζονται μέχρι το 2100. Αναμένεται να σταθεροποιηθεί η κατάσταση σε μεγάλο βαθμό μέχρι το 2050.
- Τα τελευταία 15 χρόνια δεν παράγονται σημαντικές ποσότητες CFCs (βλ. Σχήμα 2.18), έχει μειωθεί σημαντικά η χρήση τους και άρχισαν να φαίνονται τα πρώτα θετικά σημάδια (βλ. Σχήμα 2.19).



<p>1. Απελευθέρωση CFC</p> <p>2. Ανύψωση των CFC στο στρώμα του όζοντος</p> <p>3. Η ακτινοβολία UV απελευθερώνει Cl από τα CFC</p>	<p>4. Το Cl καταστρέφει το όζον</p> <p>5. Μειωμένο όζον → περισσότερη UV</p> <p>6. Περισσότερη UV → μεγαλύτερες επιπτώσεις</p>
--	--

Σχήμα 2.15. Σχηματική παράσταση της διεργασίας καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος (<http://www.epa.gov/ozone/science/process.html>).



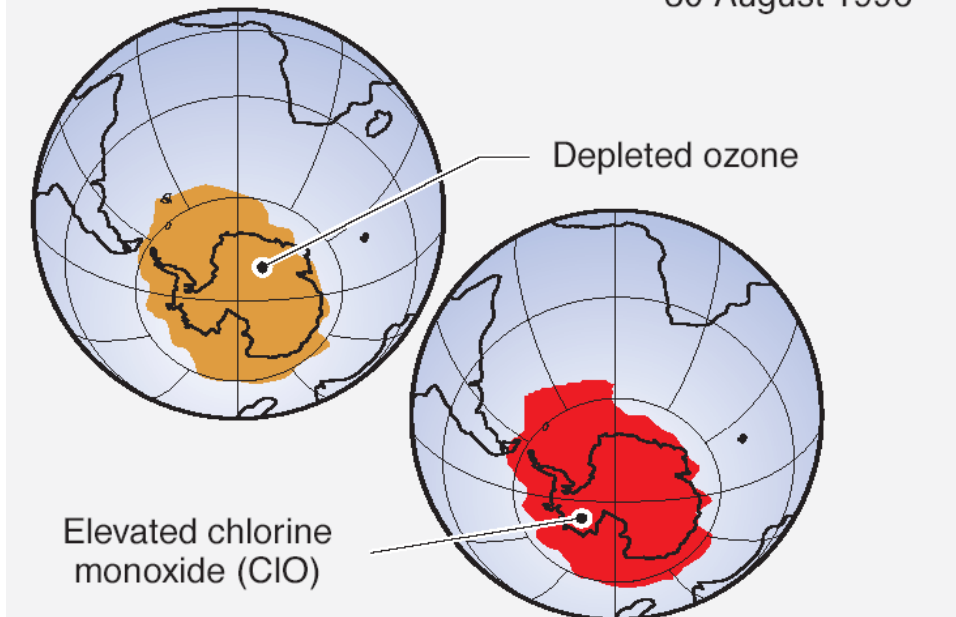
Σχήμα 2.16. Σχηματική παράσταση επίδρασης των CFC στο όζον.

Συμφωνίες για τα CFC

- Το Πρωτόκολλο του Montreal 1987, επικυρώθηκε από 170 χώρες (με διάφορες προσθήκες μέχρι και σήμερα)
- 1996- σταμάτημα παραγωγής από τις αναπτυγμένες χώρες
- 2010 – σταμάτημα παραγωγής από τις αναπτυσσόμενες χώρες
- Θεωρείται τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιτυχία
- Το Πρωτόκολλο του Montreal μπορεί να θεωρηθεί ως πρότυπο για τη διεθνή συνεργασία στο περιβάλλον.

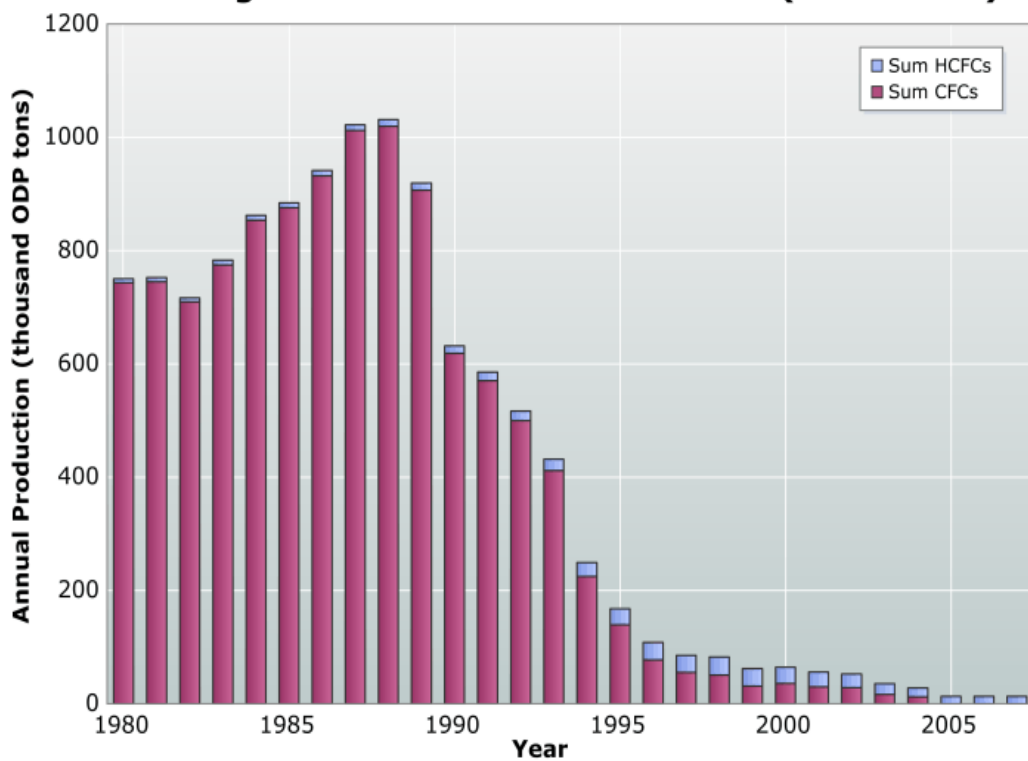
Satellite Observations in the Lower Stratosphere

30 August 1996



Σχήμα 2.17. Συσχέτιση συγκέντρωσης μονοξειδίου του χλωρίου και «τρύπας» του όζοντος στην Ανταρκτική.

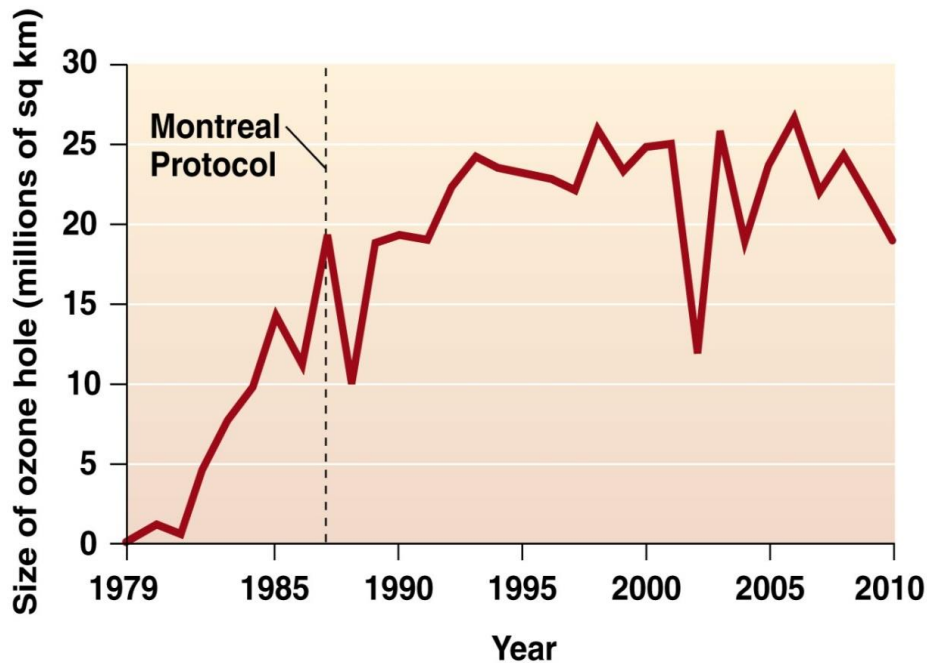
ODP-Weighted Fluorocarbon Production (1980-2007)



Σχήμα 2.18. Εξέλιξη της παραγωγής των CFCs και των HCFCs. (Πηγή: <http://www.afeas.org/overview.php>)

«Καλό» και «κακό» O₃

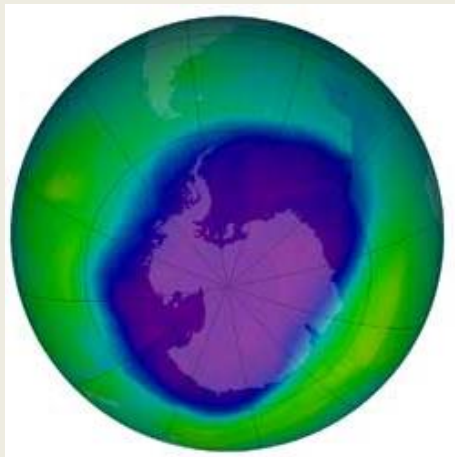
- Στην τροπόσφαιρα το O₃ είναι τοξικό (είναι κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους), αλλά και εκεί δεσμεύει κάποια ποσότητα UV-B.
- Το όζον αποτελεί παντού ασπίδα για την ακτινοβολία UV-B.



Σχήμα 2.19. Εξέλιξη του μεγέθους της «τρύπας του όζοντος»

Ice-free Arctic could be here in 23 years

- David Adam, environment correspondent
 - The Guardian
- Wednesday September 5 2007



The Arctic ice cap has collapsed at an unprecedented rate this summer and levels of sea ice in the region now stand at a record low, scientists said last night. Experts said they were "stunned" by the loss of ice, with an area almost twice as big as Britain disappearing in the last week alone. So much ice has melted this summer that the north-west passage across the top of Canada is fully navigable, and observers say the

north-east passage along Russia's Arctic coast could open later this month. If the increased rate of melting continues, the summertime Arctic could be totally free of ice by 2030.

Mark Serreze, an Arctic specialist at the US National Snow and Ice Data Centre at Colorado University in Denver which released the figures, said: "It's amazing. It's simply fallen off a cliff and we're still losing ice." The Arctic has now lost about a third of its ice since satellite measurements began 30 years ago, and the rate of loss has accelerated sharply since 2002.

Dr Serreze said: "If you asked me a couple of years ago when the Arctic could lose all of its ice, then I would have said 2100, or 2070 maybe. But now I think that 2030 is a reasonable estimate. It seems that the Arctic is going to be a very different place within our lifetimes, and certainly within our children's lifetimes."

The new figures show that sea ice extent is currently down to 4.4m square kilometres (1.7m square miles) and still falling. The previous record low was 5.3m square kilometres in September 2005. From 1979 to 2000 the average sea ice extent was 7.7m square kilometres. The minimum extent of sea ice usually occurs late in September each year, as the freezing Arctic winter begins to bite.

The sea ice usually then begins to freeze again over the winter. But Dr Serreze said that would be difficult this year. "This summer we've got all this open water and added heat going into the ocean. That is going to make it much harder for the ice to grow back. What we've seen this year sets us up for an even worse year next year." The winter ice has already failed to make up for increased losses in the summer in each of the last two years.

Changes in wind and ocean circulation patterns can help reduce sea ice extent, but Dr Serreze said the main culprit was man-made global warming. "The rules are starting to change and what's changing the rules is the input of greenhouse gases. This year puts the exclamation mark on a series of record lows that tell us something is happening."

The dramatic loss is further bad news for the region's wildlife which relies on the sea ice, such as polar bears. The animals use its coastal fringes to find food, and as the summer ice retreats to the north, they must swim further to hunt for seals. Some colonies of bears have already showed signs of malnutrition and biologists say there could be a severe drop in their population within a few decades, though they may not go extinct.

Yesterday's announcement will also increase political interest in the Arctic, with a number of countries currently jostling to exploit the oil and gas reserves believed to lie under the ocean, which could become more accessible as the icy cover retreats. Last month Russia claimed a huge area around the north pole, and Denmark and Canada are preparing similar claims, which rely on showing that a chain of underwater mountains that runs across the region are connected to their respective continental shelves.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ 1. Ποιο υγρό καύσιμο (βενζίνη, ντίζελ) παράγει περισσότερο CO₂; Αν ένα αυτοκίνητο με βενζινομηχανή διανύει 15 km με 1 kg καυσίμου και ένα αυτοκίνητο ντίζελ 20 km με 1 kg καυσίμου, ποιο καύσιμο είναι περισσότερο αποδοτικό ανά διανυόμενο km; (Τα καύσιμα μπορούν να παρασταθούν ως: Βενζίνη: C₈H₁₈, Ντίζελ: C₁₆H₃₄)

ΛΥΣΗ:

$$(α) \frac{8 \times 12 (\text{kg C})}{8 \times 12 + 18 \times 1 (\text{kg βενζ.})} \cdot \frac{44 (\text{kg CO}_2)}{12 (\text{kg C})} = 3,09 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg βενζ.}}$$

$$(β) \frac{16 \times 12 (\text{kg C})}{16 \times 12 + 34 \times 1 (\text{kg diesel})} \cdot \frac{44 (\text{kg CO}_2)}{12 (\text{kg C})} = 3,12 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg diesel}}$$

Το ντίζελ παράγει δηλαδή λίγο περισσότερες εκπομπές CO₂ ανά kg καυσίμου, αλλά δεδομένου ότι οι κινητήρες ντίζελ είναι περισσότερο αποδοτικοί, οι εκπομπές ανά διανυόμενο km είναι τελικά λιγότερες! Συγκεκριμένα:

$$(α) 3,09 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg βενζ.}} \times \frac{1 \text{ kg βενζ.}}{15 \text{ km}} = 0,206 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

$$(β) 3,12 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg diesel}} \times \frac{1 \text{ kg diesel}}{20 \text{ km}} = 0,156 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Θα πρέπει τα περιβαλλοντικά θέματα να είναι στην πρώτη γραμμή όταν αναφερόμαστε σε ενεργειακά θέματα;
- 2) Ποιες είναι οι υπάρχουσες στρατηγικές για την μείωση του κινδύνου από την κλιματική αλλαγή;
- 3) Τι προτάσεις θα έκανες για τη μείωση των εκπομπών στην Ελλάδα;
- 4) Ποια νομίζετε είναι η συσχέτιση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και της φθοράς των μαρμάρινων μνημείων της χώρας μας;
- 5) Ποιες δραστηριότητές σου επηρεάζουν τις εκπομπές των ρυπαντών που απειλούν τη στιβάδα του όζοντος; Η μείωση της στιβάδας θα επηρεάσει άλλες δραστηριότητές σου;
- 6) Σε ποια θερμοκρασία θα πρέπει να εξέρχονται τα νερά από το συμπυκνωτή μιας ΑΗΜ;