

- Εισαγωγή στα μοντέλα διάχυσης και διασποράς ρύπων: Περιγραφή αρχών και βασικών παραμέτρων. Στοιχεία εισόδου στα μοντέλα. Εκπομπές. Εφαρμογές.
- Μεθοδολογία μετρήσεων φυσικών παραμέτρων και ατμοσφαιρικών ρύπων. Μετρήσεις Φυσικής Ατμόσφαιρας. Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Μηχανισμοί καθαρισμού της ατμόσφαιρας. Αέρια ρύπανση σε αστικές περιοχές. Ποιότητα ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και αστικό μικροκλίμα.

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

- Air and Climate
 - Ατμοσφαιρική Ρύπανση – Κλιματική αλλαγή – Προσαρμογή στην Κλιματική αλλαγή
- Nature
 - Βιοποικιλότητα – Οικοσυστήματα – Έδαφος – Χρήση γαιών – Υδάτινο και θαλάσσιο περιβάλλον
- Sustainability and well-being
 - Αποδοτική χρήση πόρων και απόβλητα - μετάβαση στη βιωσιμότητα – μέσα πολιτικής - περιβάλλον και υγεία
- Economic Sectors
 - Βιομηχανία – Ενέργεια – Γεωργία - Μεταφορές

Το περιβάλλον της Ευρώπης το 2020

Καθώς ο χαρακτήρας και η κλίμακα των παγκόσμιων προκλήσεων γύρω από το περιβάλλον και το κλίμα έχουν καταστεί περισσότερο σαφείς, έχουν αντίστοιχα εξελιχθεί και τα πλαίσια πολιτικής. Το πλαίσιο περιβαλλοντικής πολιτικής της Ευρώπης -το περιβαλλοντικό κεκτημένο- διαμορφώνεται ολοένα και περισσότερο βάσει φιλόδοξων μακροπρόθεσμων οραμάτων και στόχων. Το γενικό όραμα για το περιβάλλον και την κοινωνία της Ευρώπης ορίζεται μέσω του Εβδόμου Προγράμματος Δράσης για το Περιβάλλον (7ο ΠΔΠ), το οποίο προβλέπει ότι έως το 2050:

«Ζούμε καλά, εντός των οικολογικών ορίων του πλανήτη μας. Η ευμάρεια που απολαμβάνουμε και το υγιενό περιβάλλον στο οποίο ζούμε οφείλονται σε μια καινοτόμο και κυκλική οικονομία, όπου δεν γίνονται σπατάλες και όπου διασφαλίζεται η αειφόρος διαχείριση των φυσικών πόρων, και η βιοποικιλότητα προστατεύεται, αποτιμάται και αποκαθίσταται με τρόπους που ενισχύουν την ανθεκτικότητα της κοινωνίας μας. Η οικονομική μας αύξηση με χαμηλά επίπεδα ανθρακούχων εκπομπών έχει προ πολλού αποσυνδεθεί από τη χρήση των πόρων και έχει γίνει η κινητήρια δύναμη στην πορεία προς μια ασφαλή και αειφόρο παγκόσμια κοινωνία.»

<https://www.eea.europa.eu/el/publications/to-eyropaiko-periballon-katastasi-kai>

Παρατηρητήριο της ποιότητας του αέρα ευρωπαϊκών πόλεων

Ο ΕΟΠ επιδιώκει να συνεισφέρει στο φιλόδοξο σχέδιο της Ευρώπης για μετάβαση σε μια κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, αποδοτικής χρήσης των πόρων και αντοχής του οικοσυστήματος έως το 2050. Τα μακροχρόνια περιβαλλοντικά προβλήματα είναι αλληλένδετα και στον πυρήνα βρίσκονται τα κοινωνικοοικονομικά συστήματα που παρέχουν τα απαραίτητα σε μια σύγχρονη κοινωνία, όπως τροφή, ενέργεια και μεταφορές. Τα βασικά κοινωνικά συστήματά μας θα πρέπει να μεταβληθούν εκ βάθρων εάν θέλουμε να ακολουθήσουμε μια αξιόπιστη πορεία προς τον στόχο που έχει τεθεί για το 2050.

Δρ. Hans Bruyninckx
Εκτελεστικός Διευθυντής

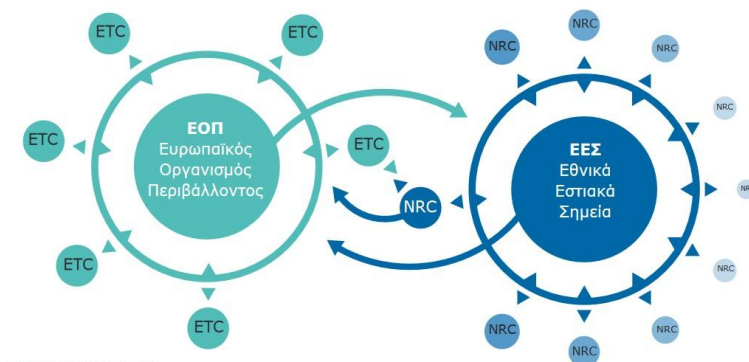
Έκθεση για την ποιότητα αέρα στην Ευρώπη

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/air-quality-status-briefing-2021>

Έκθεση για την ποιότητα αέρα στην Ελλάδα

<https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2021-country-fact-sheets/greece>

Το Ευρωπαϊκό δίκτυο πληροφοριών και παρατηρήσεων σχετικά με το περιβάλλον (Eionet)



ETC=European Topic Centre
NRC=National Reference Centre

Όρια Ρύπων

- Για την Ελλάδα ισχύουν όρια για τους ρύπους
 - Διοξείδιο του Αζώτου (NO_2)
 - Όζον (O_3)
 - Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
 - Διοξείδιο του Θείου (SO_2)
 - Μόλυβδο (Mb)
 - Βενζόλιο (C_6H_6)
 - Βενζο(α)πυρένιο
 - Αρσενικό
 - Κάδμιο
 - Υδράργυρο (Hg)
 - Αιωρούμενα Σωματίδια (PM10, PM2.5)

Νομοθεσία – Οδηγίες

Εναρμόνιση της Οδηγίας 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος	Κοινή Υπουργική Απόφαση 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000
1 ^η «θυγατρική» οδηγία για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μόλυβδου στον αέρα του περιβάλλοντος	οδηγία 1999/30/ΕΚ, ΦΕΚ 125/Β/5-6-02
2 ^η «θυγατρική» οδηγία, για τις οριακές τιμές μονοξειδίου του άνθρακα και βενζολίου στον αέρα του περιβάλλοντος	οδηγία 2000/69/ΕΚ
3 ^η «θυγατρική» οδηγία που αναφέρεται σχετικά με τα επίπεδα του όζοντος στον ατμοσφαιρικό αέρα	οδηγία 2002/3/ΕΚ
4 ^η «θυγατρική» οδηγία σχετικά με το αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρο, νικέλιο και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες στον αέρα του περιβάλλοντος	οδηγία 2004/107/ΕΚ
Καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από διάφορα δίκτυα και μεμονωμένους σταθμούς	οδηγία 2008/50/ΕΚ που συσσωματώνεται στις προηγούμενες οδηγίες αλλά και την απόφαση 97/101/ΕΚ
Βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10 ή ΡΜ10)	Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με αριθμ. οικ. 70601/ΦΕΚ 3272/τ.Α΄/23-12-2013
Τροποποίηση παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/ΕΚ και 2008/50/ΕΚ που ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα	Οδηγία 2015/1480/ΕΚ (ΚΥΑ 174505/607 , ΦΕΚ 1311Β/13.4.17)

Όρια Ρύπων

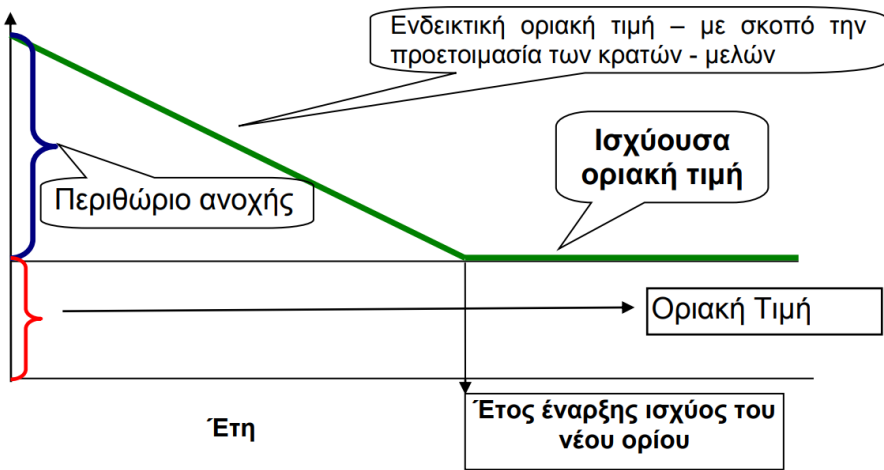
Pollutant	Concentration	Averaging period	Legal nature	Permitted exceedences each year
Fine particles (PM _{2.5})	25 µg/m ³ ***	1 year	Target value to be met as of 1.1.2010 Limit value to be met as of 1.1.2015	n/a
Sulphur dioxide (SO ₂)	350 µg/m ³	1 hour	Limit value to be met as of 1.1.2005	24
	125 µg/m ³	24 hours	Limit value to be met as of 1.1.2005	3
Nitrogen dioxide (NO ₂)	200 µg/m ³	1 hour	Limit value to be met as of 1.1.2010	18
	40 µg/m ³	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2010 *	n/a
PM ₁₀	50 µg/m ³	24 hours	Limit value to be met as of 1.1.2005 **	35
	40 µg/m ³	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2005 **	n/a
Lead (Pb)	0.5 µg/m ³	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2005 (or 1.1.2010 in the immediate vicinity of specific, notified industrial sources; and a 1.0n/a µg/m ³ limit value applied from 1.1.2005 to 31.12.2009)	n/a
Carbon monoxide (CO)	10 mg/m ³	Maximum daily 8 hour mean	Limit value to be met as of 1.1.2005	n/a
Benzene	5 µg/m ³	1 year	Limit value to be met as of 1.1.2010**	n/a
Ozone	120 µg/m ³	Maximum daily 8 hour mean	Target value to be met as of 1.1.2010	25 days averaged over 3 years
Arsenic (As)	6 ng/m ³	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Cadmium (Cd)	5 ng/m ³	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Nickel (Ni)	20 ng/m ³	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	1 ng/m ³ (expressed as concentration of Benzo(a)pyrene)	1 year	Target value to be met as of 31.12.2012	n/a

*Under Directive 2008/50/EU, the Member State could apply for an extension of up to five years (i.e. maximum up to 2015) in a specific zone. The request is subject to an assessment by the Commission. In such cases within the time extension period the limit value applies at the level of the limit value + maximum margin of tolerance (48 µg/m³ for annual NO₂ limit value).

Όρια Ρύπων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ		ΟΡΙΟ
Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Όριο συναγε- μού	Μέση ωριαία τιμή για τρεις συνεχό- μενες ώρες	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Τιμή – στόχος για την προστα- σία της ανθρω- πινής υγείας (Έτος ισχύος 2010)	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνε- ται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ε- τών	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όρια όζοντος (Οδηγία 2008/3/ΕΕ)



Επεξήγηση της εφαρμογής της τιμής στόχου και οριακής τιμής σύμφωνα με τις οδηγίες της Ε.Ε.

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟ- ΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ	ΟΔΗΓΙΑ
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΑΖΩΤΟΥ (NO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγε- μού: 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO ₂) υπέρβαση της τιμής για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/ΕΚ
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγε- μού 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/ΕΚ
ΟΖΟΝ (O ₃)	1 ώρα	Όριο συναγε- μού: 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (O ₃) υπέρβαση της τιμής για 3 συνεχόμενες ώρες	2002/3/ΕΚ
ΚΑΠΝΟΣ	24 ώρες	Στάδιο προειδοποίησης: 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Α΄ βαθμίδα μέτρων: 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Β΄ βαθμίδα μέτρων 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11824/93

Όρια επιβολής έκτακτων μέτρων (Οδηγία 2008/3/ΕΕ)

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος αφορούν
 - την διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών, της ατμόσφαιρας και του εδάφους,
 - την ανάπτυξη τεχνολογιών και δημιουργία εγκαταστάσεων για τον καθαρισμό ή και την αξιοποίηση υγρών και στερεών αποβλήτων αστικής και βιομηχανικής προέλευσης,
 - την προστασία του φυσικού πλούτου και των πολιτιστικών μνημείων μιας περιοχής,
 - την προστασία των πολιτών από τον θόρυβο, ακτινοβολίες κ.α.
- Τεχνολογίες αντιμετώπισης ρύπων
 - Τεχνολογίες αντιρρύπανσης: αντιμετώπιση της ρύπανσης που παράγεται και εκπέμπεται στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς πηγές
 - Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες: τεχνολογίες σχεδιασμένες για την αποφυγή ή ελαχιστοποίηση της παραγωγής ρύπων

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Μετριασμός ρύπανσης και αντιρρύπανση
- Καθαρισμός αερίων από αέριους ρύπους
 - Απορρόφηση
 - Προσρόφηση
 - Καταλυτική Διαδικασία
- Καθαρισμός αερίων από το σωματιδιακό φορτίο
- Μείωση έκλυσης CO₂

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Μετριασμός ρύπανσης και αντιρρύπανση
 - εύρος διεργασιών και τεχνολογιών μείωσης των ρύπων ανάλογα το είδος της εγκατάστασης (βιομηχανική μονάδα ή κινητή πηγή) και το είδος της διεργασίας που παράγει ρύπους
 - δέσμευση ή απομάκρυνση των ρύπων μετά το σχηματισμό τους
 - μείωση της παραγωγής τους κατά τη διάρκεια της διεργασίας
 - καλύτερος σχεδιασμός συστήματος καύσης σε κινητήρες οχημάτων
 - βελτίωση των καυσίμων

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- **Απορρόφηση (Absorption)**

- **Ορισμός**

Η απορρόφηση είναι διεργασία κατά την οποία ένα αέριο συστατικό διαχωρίζεται από ένα αέριο μίγμα μέσω μεταφοράς μάζας προς ένα κατάλληλο υγρό απορροφητικό μέσο.

- **Μηχανισμός**

Η κινητήρια δύναμη της διεργασίας είναι η **διαφορά συγκέντρωσης** (ή μερικής πίεσης) του συγκεκριμένου αερίου μεταξύ:

- του αερίου μίγματος (υψηλή συγκέντρωση) και
 - του υγρού απορροφητικού (χαμηλή συγκέντρωση).

- **Προϋποθέσεις απορρόφησης**

- Το αέριο πρέπει να είναι **διαλυτό** στο απορροφητικό υγρό (συνηθέστερα νερό).
 - Το απορροφητικό υγρό πρέπει να παρουσιάζει **υψηλή εκλεκτικότητα** για τον συγκεκριμένο ρύπο.
 - Να μην πραγματοποιούνται ανεπιθύμητες αντιδράσεις (εκτός αν πρόκειται για **χημική απορρόφηση**).
 - Καλή επαφή αερίου–υγρού (μεγάλη διεπιφάνεια).

- **Σημείωση**

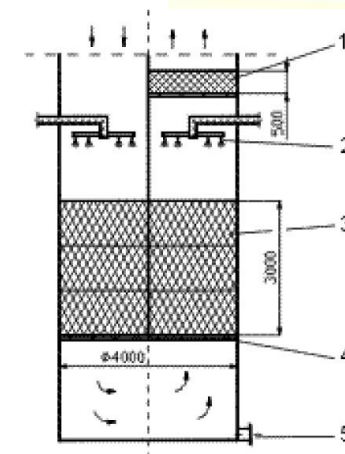
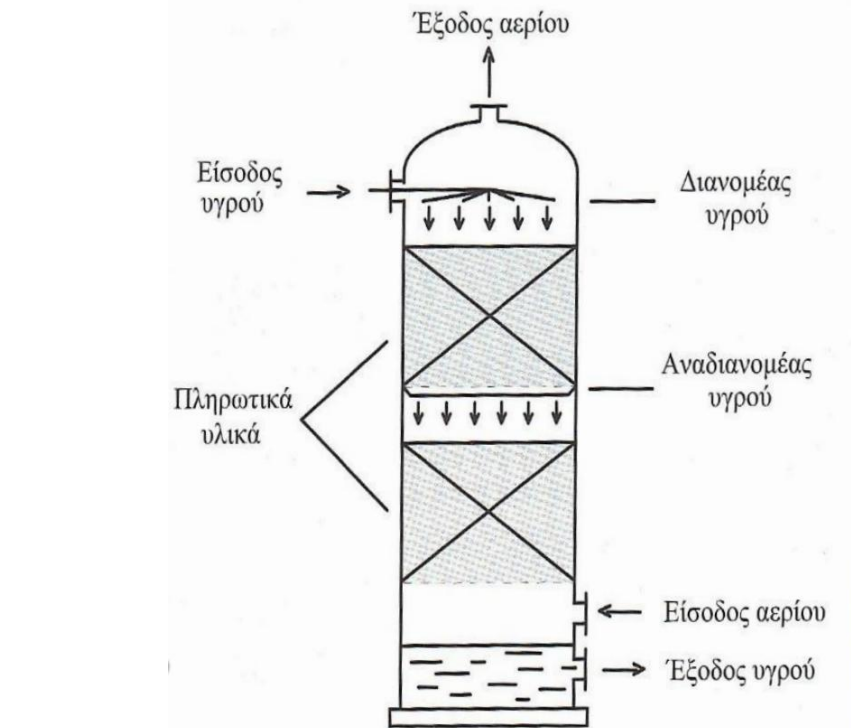
Η απορρόφηση μπορεί να είναι:

- **Φυσική** (διάλυση χωρίς χημική αντίδραση)
 - **Χημική** (το αέριο αντιδρά με το υγρό, π.χ. SO_2 σε αλκαλικά διαλύματα)

Πεδίο	Εφαρμογή	Ρύπος	Απορροφητικό μέσο	Τύπος απορρόφησης	Τεχνικές λεπτομέρειες / Σχόλια
Ελλάδα	Μονάδες επεξεργασίας βιοαερίου (ΧΥΤΑ, αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα)	H ₂ S, NH ₃	Νερό, αλκαλικά διαλύματα (NaOH), βιο-scrubber	Χημική / Βιολογική	Αφαίρεση H ₂ S για προστασία μηχανών & μείωση διάβρωσης. Συχνά συνδυάζεται με βιολογική οξείδωση του H ₂ S σε θειικά.
Ελλάδα	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)	H ₂ S, VOCs	Νερό + χημικά ή βιολογικό υλικό	Χημική / Βιολογική	Κρίσιμο για έλεγχο οσμών. Χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά υψηλή κοινωνική όχληση → scrubbers σε κλειστούς χώρους.
Ελλάδα	Βιομηχανίες επιμετάλλωσης, βαφής, χημικών	HCl, HF, SO ₂	Νερό ή αλκαλικά διαλύματα	Φυσική / Χημική	Κλασικοί υγροί scrubbers σε καμινάδες. Σχετικά απλή τεχνολογία, χαμηλό κόστος, υψηλή αξιοπιστία.
Εξωτερικό	Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. Drax – HB)	SO ₂	Ασβεστόλιθος (CaCO ₃) σε νερό	Χημική	Wet Flue Gas Desulfurization (FGD). Απόδοση >90%. Παραπροϊόν: γύψος (CaSO ₄ ·2H ₂ O).
Εξωτερικό	Διυλιστήρια & φυσικό αέριο	H ₂ S, CO ₂	Διαλύματα αμινών (MEA, DEA)	Χημική (αναγεννώμενη)	Κλασική βιομηχανική εφαρμογή. Το απορροφητικό αναγεννάται → ανάκτηση H ₂ S (π.χ. Claus process).
Ναυτιλία	Πλοία σε SECA περιοχές	SO _x	Θαλασσινό νερό ή αλκαλικό διάλυμα	Χημική	Scrubbers καυσαερίων για συμμόρφωση με IMO. Αντικαθιστούν καύσιμα χαμηλού θείου.
Εξωτερικό	Μονάδες καύσης απορριμμάτων	HCl, HF, SO ₂	Νερό + αλκαλικά πρόσθετα	Χημική	Συνδυάζονται με φίλτρα σωματιδίων. Κρίσιμο στάδιο πριν την απελευθέρωση καυσαερίων.

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Η είσοδος του υγρού γίνεται από την κορυφή μέσω ενός διανομέα
- Το υγρό περνά μέσα από στρώματα (κλίνες) πληρωτικών υλικών και απομακρύνεται από τον πυθμένα
- Το αέριο εισέρχεται από τον πυθμένα και εξέρχεται από την κορυφή
- Η μεταφορά μάζας του συστατικού είναι ανάλογη της επιφάνειας επαφής των δύο φάσεων, η οποία μπορεί να αυξηθεί με την κάλυψη της στήλης με πληρωτικό υλικό
- Το υγρό διαβρέχει όλη την επιφάνεια του πληρωτικού υλικού και έτσι αυξάνει πολύ η επιφάνεια επαφής του υγρού με το αέριο



1 Διαχωριστής σταγονιδίων

2 Στόμια υγρού

3 Πληρωτικό μέσο

4 Δίσκος συγκράτησης

5 Εξόδος κορεσμένου απορροφητικού υγρού

Εξοπλισμός απορρόφησης - Πληρωτικά υλικά

- Απορρόφηση πραγματοποιείται σε πύργους με πληρωτικά υλικά
- Πληρωτικά υλικά
 - μεγιστοποίηση της επαφής αερίου-υγρού
 - επίτευξη χαμηλής πτώσης πίεσης στην αέρια φάση
 - Διάφορα σχήματα και υλικά (κατασκευάζονται από χάλυβα για αποφυγή διάβρωσης ή κεραμικό υλικό)
 - Επιθυμητά χαρακτηριστικά
 - Μεγάλη επιφάνεια διαβροχής ανά μονάδα όγκου
 - Ελάχιστο βάρος
 - Ικανοποιητική χημική αντίσταση
 - Χαμηλή επίδραση στη ροή του νερού
 - Χαμηλή πτώση πίεσης
 - Χαμηλό κόστος



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους

- Συσκευές

- Κυλινδρικός πύργος ψεκασμού (δεν απαιτείται πλήρης καθαρισμός)

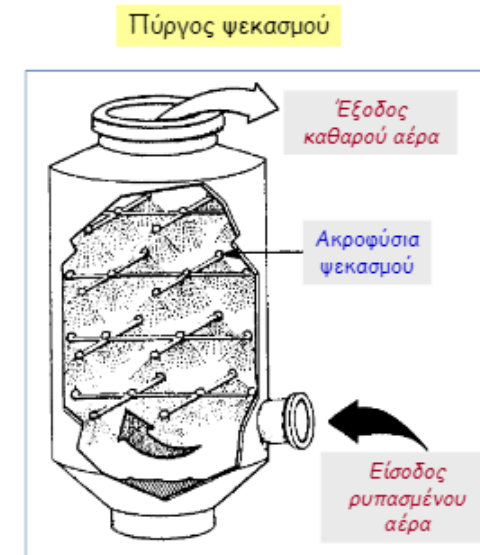
- Πλεονεκτήματα: μικρή πτώση πίεσης απαερίου, απλή κατασκευή, μικρή επίδραση σωματιδίων στη δέσμευση του αερίου
 - Μειονεκτήματα: χαμηλός ρυθμός διάχυσης και μεταφοράς μάζας, σχετικά μικρή απόδοση

- Απορροφητήρας με δίσκο

- Πλεονεκτήματα: πολύ καλή ανάμιξη υγρού και αερίου, υψηλή απόδοση
 - Μειονεκτήματα: μεγάλη πτώση πίεσης, κατανάλωσή ενέργειας

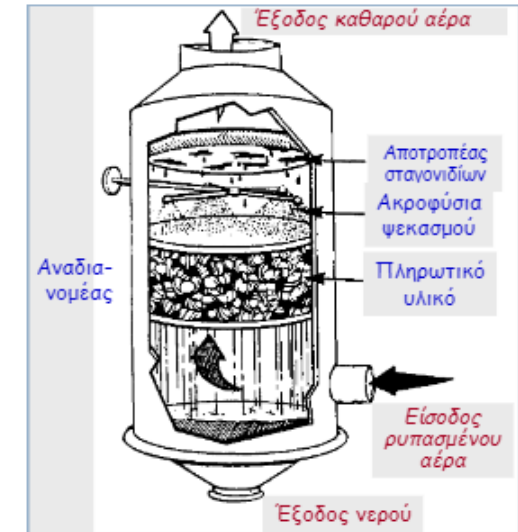
- Πύργος με πληρωτικό μέσο

- Πλεονεκτήματα: υψηλή απόδοση
 - Μειονεκτήματα: μεγάλη πτώση πίεσης, κατανάλωσή ενέργειας, για απαερία χωρίς σωματίδια



Mycock et al., 1995

Πύργος με πληρωτικό υλικό κατ' αντιστροφή (η κοινότερη συσκευή)



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- **Φυσική Προσρόφηση (Physisorption)**

- **Ορισμός**

Η φυσική προσρόφηση είναι διεργασία κατά την οποία ένα αέριο συστατικό συγκρατείται στην **επιφάνεια ενός στερεού** μέσω φυσικών δυνάμεων, χωρίς να λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση.

- **Χαρακτηριστικά**

- Πρόκειται για **επιφανειακό φαινόμενο** (όχι διάχυση στο εσωτερικό, εκτός από τους πόρους).
 - Μπορεί να εμφανιστεί:
 - σε θερμοκρασίες **υψηλότερες από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης** του ατμού,
 - σε **χαμηλές συγκεντρώσεις (μερικές πιέσεις)** του αερίου.
 - Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια είναι **δυνάμεις Van der Waals**.

- **Δεν πραγματοποιείται χημική αντίδραση.**

- Ευνοείται από:

- **χαμηλές θερμοκρασίες,**
 - **υψηλές πιέσεις** ή μερικές πιέσεις του ρύπου.

- Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται ισχυρά από:

- τη **μεγάλη ειδική επιφάνεια** του προσροφητικού στερεού,
 - την πορώδη δομή του υλικού.

- Είναι **αντιστρεπτή διεργασία** (αναγέννηση με θέρμανση ή μείωση πίεσης).

- **Τυπικά προσροφητικά υλικά** (Ενεργός άνθρακας, Ζεόλιθοι, Πυριτική γέλη (silica gel))

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- **Χημειορρόφηση (Chemisorption)**

- **Ορισμός**

Η χημειορρόφηση είναι μορφή προσρόφησης κατά την οποία δημιουργείται **χημικός δεσμός** μεταξύ της προσροφώμενης ουσίας και της επιφάνειας του στερεού.

- **Χαρακτηριστικά**

- Πολύ **ισχυρότερη διεργασία** από τη φυσική προσρόφηση.
 - Συνοδεύεται από:
 - σημαντική **εκλυόμενη ενέργεια**,
 - υψηλή εκλεκτικότητα για συγκεκριμένα αέρια.

- Απαιτεί συχνά:

- **ενεργοποίηση** (ελάχιστη θερμοκρασία).

- Δεν ακολουθεί απαραίτητα γραμμική ισοθερμία (π.χ. Langmuir).

- Συνήθως θεωρείται **μη αντιστρέψιμη ή δύσκολα αναγεννώμενη** διεργασία.

- Περιορίζεται συχνά σε **μονομοριακό στρώμα**.

- **Παραδείγματα**

- Δέσμευση H_2S σε μεταλλικά οξείδια
 - Καταλυτικές επιφάνειες για SO_2 ή NO_x
 - Προσρόφηση CO σε μεταλλικές επιφάνειες

Μείωση Αέριας Ρύπανσης – Προσρόφηση (εφαρμογές)

1. Απόσμηση (odor control)

Απομάκρυνση **ιχνών αερίων ρύπων** (<100 ppm) με έντονη οσμή.

Συνήθως εφαρμόζεται **χωρίς αναγέννηση** του προσροφητή (μιας χρήσης).

Τυπικό προσροφητικό: **ενεργός άνθρακας**.

Εφαρμογές: εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, βιομηχανίες τροφίμων, μονάδες ζωικών αποβλήτων.

2. Συγκέντρωση και ανάκτηση οργανικών διαλυτών

Χρήση προσρόφησης για:

συλλογή, συμπύκνωση και ανάκτηση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

Κλασικές εφαρμογές: βιομηχανία **ημιαγωγών**, χημική και φαρμακευτική βιομηχανία, βαφεία και επιστρώσεις.

Τυπικές ουσίες: βενζόλιο, αιθανόλη, φρέον, άλλοι οργανικοί διαλύτες.

Συνήθως εφαρμόζεται **αναγέννηση του προσροφητή** (θερμικά ή με ατμό).

3. Συμμόρφωση με όρια εκπομπών VOCs

Η προσρόφηση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για:

οργανικές ενώσεις με **μοριακό βάρος > ~45 g/mol**,

συγκεντρώσεις περίπου **10–10 000 ppm**.

Χρησιμοποιείται: ως τελικό στάδιο (“polishing step”), ή σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες (π.χ. καύση, συμπύκνωση).

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

4. Απομάκρυνση επικίνδυνων αερίων ρύπων (HAPs)

Αφαίρεση ιχνών από: πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), διοξίνες, φουράνια, εντομοκτόνα, φαινολικές ενώσεις.

Κρίσιμη εφαρμογή σε: μονάδες καύσης αποβλήτων, χημικές εγκαταστάσεις, περιβαλλοντική προστασία υψηλής επικινδυνότητας.

Συχνά **χωρίς αναγέννηση**, λόγω τοξικότητας.

5. Απομάκρυνση ατμών υδραργύρου (Hg)

Εφαρμογή σε: μονάδες καύσης άνθρακα, βιομηχανικές διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας.

Προσροφητικά: ενεργός άνθρακας εμποτισμένος με θείο ή αλογόνα.

Συνδυασμός φυσικής προσρόφησης και **χημειορρόφησης**.

6. Καταλυτικοί μετατροπείς οχημάτων

Οι καταλύτες λειτουργούν μέσω:

χημειορρόφησης των ρύπων (CO, NOx, υδρογονάνθρακες) και επακόλουθων καταλυτικών αντιδράσεων.

Επιφάνειες μετάλλων (Pt, Pd, Rh) με **υψηλή ειδική επιφάνεια**.

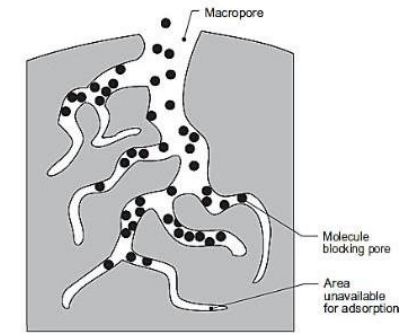
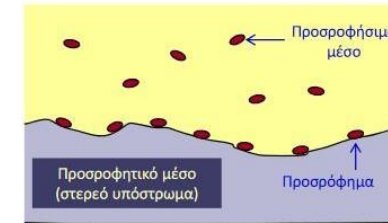
Κλασικό παράδειγμα όπου η προσρόφηση είναι **στάδιο και όχι τελικό σκοπό**.

Πεδίο	Εφαρμογή	Ρύποι	Προσροφητικό υλικό	Τύπος προσρόφησης	Τεχνικές λεπτομέρειες / Σχόλια
Ελλάδα	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)	H ₂ S, VOCs (οσμές)	Ενεργός άνθρακας	Φυσική	Απόσμηση αέρα σε κλειστούς χώρους (αντλιοστάσια, δεξαμενές). Συνήθως χωρίς αναγέννηση λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων.
Ελλάδα	Μονάδες διαχείρισης απορριμμάτων / ΧΥΤΑ	VOCs, οργανικές οσμές	Ενεργός άνθρακας	Φυσική	Τελικό στάδιο καθαρισμού αέρα πριν την απόρριψη στην ατμόσφαιρα.
Ελλάδα	Βιομηχανία τροφίμων & ποτών	Οργανικές οσμές, διαλύτες	Ενεργός άνθρακας	Φυσική	Έλεγχος οσμών για περιβαλλοντική συμμόρφωση και αποδοχή από τοπικές κοινωνίες.
Ελλάδα	Ναυτιλία (έμμεσα)	Υδρογονάνθρακες, VOCs	Καταλυτικές επιφάνειες	Χημειορρόφηση	Καταλυτικοί μετατροπείς βοηθητικών μηχανών και after-treatment συστήματα.
Εξωτερικό	Μονάδες καύσης απορριμμάτων (ΕΕ, Ιαπωνία)	Διοξίνες, φουράνια, Hg	Ενεργός άνθρακας (εμποτισμένος)	Φυσική + Χημειορρόφηση	Έγχυση ενεργού άνθρακα πριν τα φίλτρα. Κρίσιμη εφαρμογή για τοξικούς ρύπους.
Εξωτερικό	Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (ΗΠΑ, Κίνα)	Υδράργυρος (Hg)	Ενεργός άνθρακας με θείο/αλογόνα	Χημειορρόφηση	Αφαίρεση Hg από καυσαέρια άνθρακα. Συνδυασμός προσρόφησης & φίλτρανσης.
Εξωτερικό	Βιομηχανία ημιαγωγών	VOCs, οργανικοί διαλύτες	Ενεργός άνθρακας, ζεόλιθοι	Φυσική (αναγεννώμενη)	Συγκέντρωση & ανάκτηση διαλυτών. Υψηλές απαιτήσεις καθαρότητας αέρα.
Εξωτερικό	Χημική & φαρμακευτική βιομηχανία	Βενζόλιο, αιθανόλη κ.ά.	Ενεργός άνθρακας	Φυσική	Ανάκτηση διαλυτών → οικονομικό όφελος + περιβαλλοντική συμμόρφωση.
Παγκόσμια	Καταλυτικοί μετατροπείς οχημάτων	CO, NO _x , HC	Pt, Pd, Rh σε κεραμικό υπόστρωμα	Χημειορρόφηση	Η προσρόφηση είναι το πρώτο στάδιο πριν την καταλυτική αντίδραση.

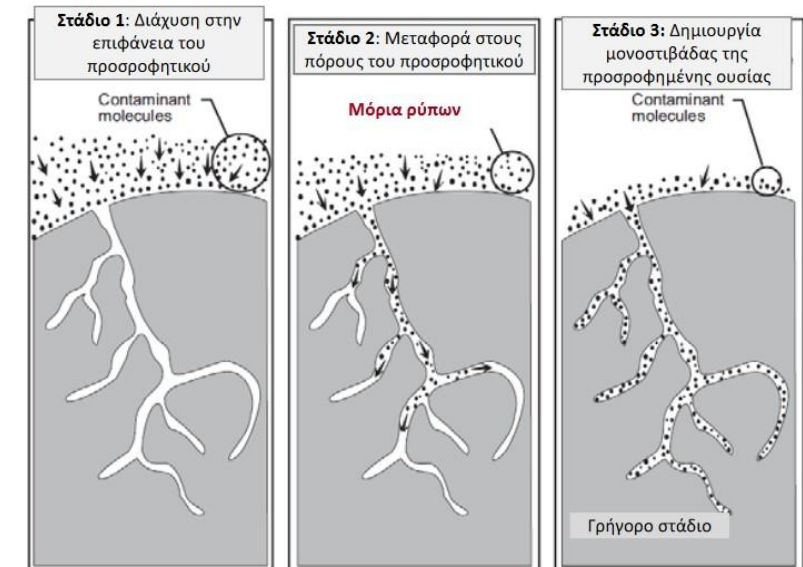
Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους
 - Προσρόφηση: προσροφητικά μέσα
 - πορώδη υλικά που δεσμεύουν τα μόρια του αέριου ρύπου
 - Αλουμίνα
 - ενεργός άνθρακας
 - silica gel
 - Παράγοντες που επηρεάζουν την χωρητικότητα προσροφητη
 - Ειδική επιφάνεια (surface area)
 - Μέγεθος πόρων
 - Κατανομή πόρων
 - Πολικότητα (polarity)
- Διατάξεις
 - Αντιδραστήρας σταθερής κλίνης
 - Πλεονεκτήματα: 100% απόδοση
 - Μειονεκτήματα: Περιοδική αναγέννηση μέσου προσρόφησης

Ορισμοί



Cooper & Alley, Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους
 - Προσρόφηση: προσροφητικά μέσα
 - Αλουμίνα
 - Παρασκευάζεται με θέρμανση και αφυδάτωση υδροξειδίου του αργιλίου
 - χρησιμοποιείται σε προσροφητικά, καθαριστικά νερού, καταλύτες και υποστηρίγματα καταλύτη
 - έχει εκλεκτική ισχύ προσρόφησης για αέρια, υδρατμούς και ορισμένα υγρά
 - αφού κορεσθεί, το νερό μπορεί να απομακρυνθεί με θέρμανση στους 175 έως 315 ° C για να ανανεωθεί.



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους
 - Προσρόφηση: προσροφητικά μέσα
 - Silica gel
 - μικροί, μη τοξικοί κόκκοι διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2 πολύ διαδεδομένη στη φύση σε κρυσταλλική ή άμορφη κατάσταση)
 - τεχνητά παρασκευασμένη μορφή του διοξειδίου του πυριτίου σε μικροσπογγώδη μορφή
 - έλκουν τα μόρια του νερού της ατμόσφαιρας στην επιφάνειά τους, και τα συγκρατούν στους μικροσκοπικούς τους πόρους
 - όταν κορεστούν από νερό μπορούν να θερμανθούν στους 100-120 βαθμούς Κελσίου ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία
 - εφαρμογές ξήρανσης αερίων



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους

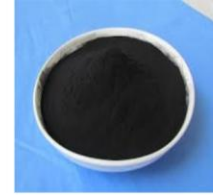
- Προσρόφηση: προσροφητικά μέσα

- Ενεργός άνθρακας

- Κάθε ανθρακούχο υλικό μπορεί να μετατραπεί σε ενεργό άνθρακα
 - Παράγεται από την αφυδάτωση και απανθράκωση των ανθρακούχων πρώτων υλών. Η ενεργοποίηση ολοκληρώνεται κατά τη διάρκεια ελεγχόμενης οξείδωσης στην οποία το ανθρακούχο υλικό θερμαίνεται παρουσία ενός οξειδωτικού αερίου
 - Φτιάχνεται για ειδική τελική χρήση μέσω της επιλογής της πρώτης ύλης και του ελέγχου της διαδικασίας ενεργοποίησης

- Ανθρακούχα μοριακά κόσκινα

- διαφέρουν από τον ενεργό άνθρακα στο ότι η πρώτη ύλη είναι ένα πολυμερές υλικό το οποίο παράγει ομοιόμορφου μεγέθους πόρους περίπου $5 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 0.0001 \mu\text{m}$)
 - χρησιμοποιούνται στο διαχωρισμό υγρών με χαμηλά σημεία βρασμού
 - Σε σταθεροποιημένες κλίνες: χρησιμοποιείται σκληρός άνθρακας σε κοκκώδη μορφή ή σε μορφή πελέτας (0.127 mm) για ελαχιστοποίηση της φθοράς της κλίνης και τη δημιουργία σωματιδίων



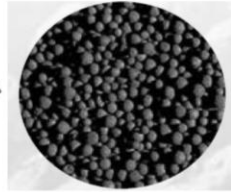
Ενεργός άνθρακας σε σκόνη (PAC)



Κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC)



Κυλινδρικά σφαιρίδια ενεργού άνθρακα

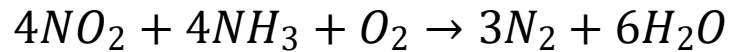
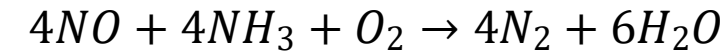


Σφαιρίδια ενεργού άνθρακα



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από αέριους ρύπους
 - Καταλυτική Επεξεργασία
 - για NO_x ή οργανική ύλη
 - Βιομηχανικοί καταλυτικοί μετατροπείς: αναγωγή NO_x σε N_2 ή οξείδωση οργανικής ύλης προς CO_2 H_2O
 - Κατάλυση: επιτάχυνση αντιδράσεων με τη χρήση κατάλληλου καταλύτη
 - Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (selective catalytic reduction – SCR)



αποτελεσματική σε θερμοκρασίες πάνω από 200-250°C και ο βαθμός μετατροπής μπορεί να φτάσει το 80-85%

- Εφαρμογές
 - Γενικά
 - Καθαρισμός εκπομπών κινητών πηγών
 - SCR
 - Βιομηχανικές εγκαταστάσεις (σταθμούς παραγωγής ενέργειας με χρήση στερεών καυσίμων ή φυσικού αερίου, βιομηχανικούς καυστήρες, αποτεφρωτήρες απορριμμάτων, σε κινητήρες ντίζελ πλοίων και τραίνων)

Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- **Καθαρισμός από το σωματιδιακό φορτίο**

Η επιλογή της κατάλληλης διάταξης καθαρισμού εξαρτάται από:

- το **είδος των σωματιδίων** (μέγεθος, χημική σύσταση, πυκνότητα, σχήμα),
- τη **συγκέντρωση** του σωματιδιακού φορτίου,
- τις **συνθήκες λειτουργίας** (θερμοκρασία, υγρασία, παροχή αερίου).

Ανάλογα με τα παραπάνω, χρησιμοποιούνται **διαφορετικές διατάξεις αντιρρύπανσης**.

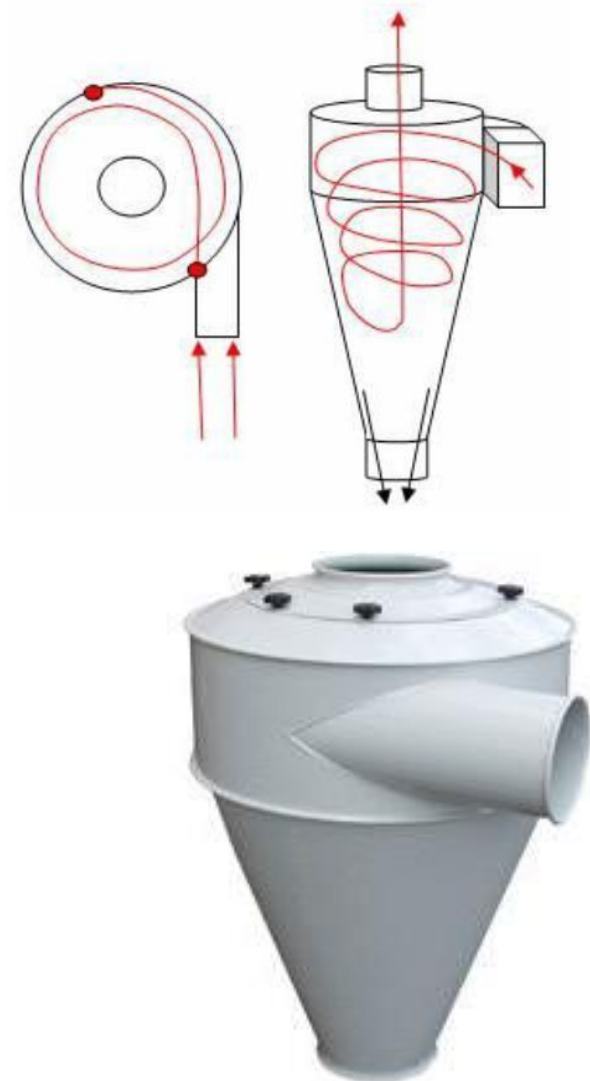
- **Κυκλώνια (Cyclones)**

- **Αρχή λειτουργίας**

Τα απαέρια εισέρχονται **περιφερειακά**, σε εφαπτόμενη διεύθυνση ως προς το τοίχωμα της συσκευής.

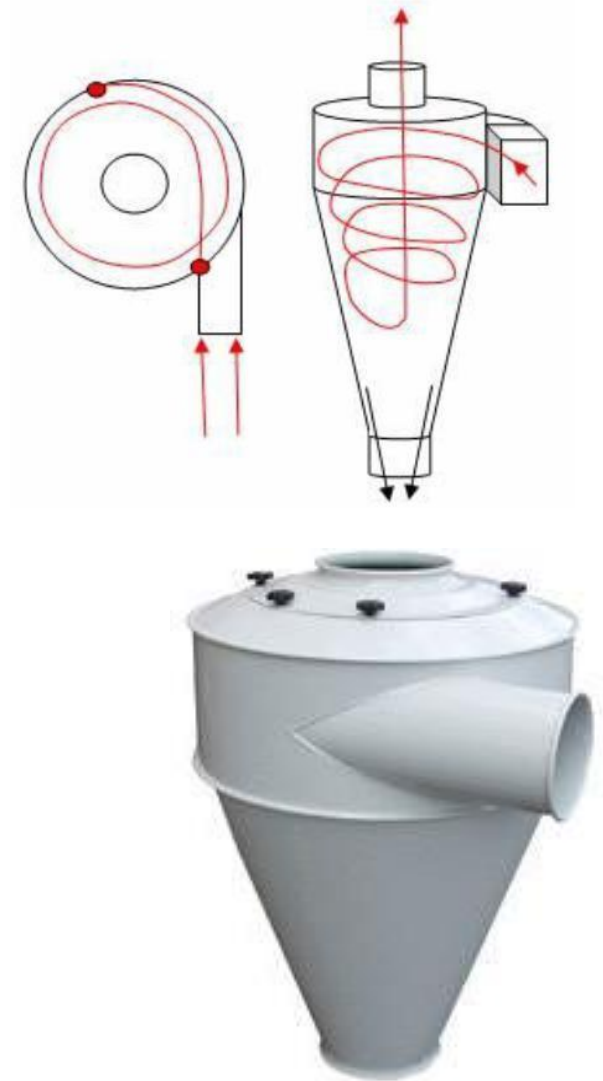
Δημιουργείται **στροβιλώδης ροή** και τα σωματίδια υφίστανται **φυγόκεντρη δύναμη**.

Τα σωματίδια ωθούνται προς τα τοιχώματα, **χάνουν ταχύτητα** και: κατακρημνίζονται, συλλέγονται στη βάση του κυκλωνίου. Το καθαρό απαέριο ανέρχεται και εξέρχεται από **τον κεντρικό σωλήνα** στην κορυφή.



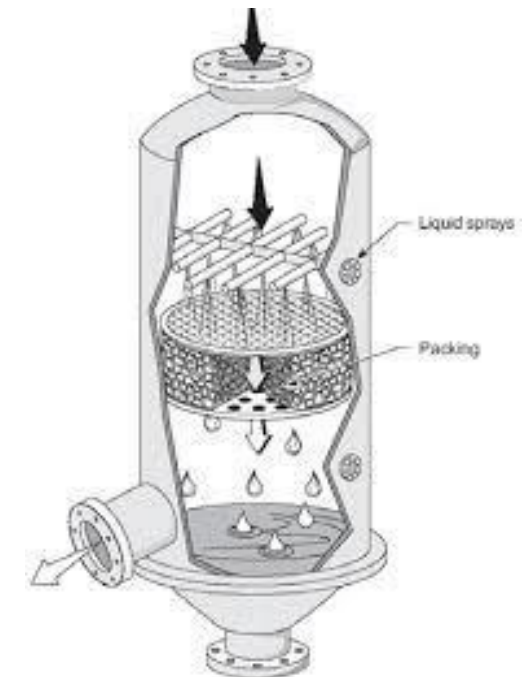
Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- **Πλεονεκτήματα**
 - Απλή κατασκευή
 - Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας
 - Αντοχή σε:
 - υψηλές θερμοκρασίες,
 - υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων
 - Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
 - Χωρίς κινούμενα μέρη
- **Περιορισμοί**
 - Χαμηλή απόδοση για λεπτά σωματίδια:
 - γενικά μη αποτελεσματικά για σωματίδια $< 10 \mu m$
 - Ακατάλληλα για κολλώδη ή υγρή σωματιδιακή ύλη:
 - τα σωματίδια προσκολλώνται στα τοιχώματα,
 - παρεμποδίζεται η κατακρήμνιση και η λειτουργία.
 - Δεν ενδείκνυνται όταν απαιτούνται **πολύ χαμηλά όρια εκπομπών**.
- **Τυπικές εφαρμογές**
 - Προκαθαρισμός καυσαερίων πριν από:
 - φίλτρα σακκόφιλτρα,
 - ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές.
 - Βιομηχανίες: τσιμέντου, μεταλλουργίας, ξύλου, καύσης βιομάζας.



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Καθαρισμός από το σωματιδιακό φορτίο
 - Ανάλογα την διεργασία -> είδος (μέγεθος, χημική σύσταση, ιδιότητες) και συγκέντρωση σωματίδιων
 - Διαφορετικές διατάξεις αντιρρύπανσης
 - Πλυντρίδες (wet scrubbers): εκμετάλλευση βαρύτητας σωματιδίων με δέσμευση τους από σταγονίδια νερού
 - Ανοδικό ρεύμα απαερίων – καθοδικό ρεύμα σταγονιδίων νερού – διεπαφή και δέσμευση των σωματιδίων από τα σταγονίδια νερού
 - Μείωση σωματιδίων μέχρι 95% για $PM_{0.3-0.5\mu m}$
 - Κατάλληλο για κολλώδη σωματίδια
 - Μειονεκτήματα: μεγάλη πτώση πίεσης, ανάγκη επεξεργασίας ρυπασμένου ρευστού μετά τη διαδικασία, ακατάλληλο για θερμό ρεύμα καυσαερίων, διαβρωτικός χαρακτήρας απαερίων λόγω θειωδων



Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής: χρήση ηλεκτροστατικής δύναμης και ιονισμού σωματιδίων για την απομάκρυνση αιωρούμενων σωματιδίων από απαέρια

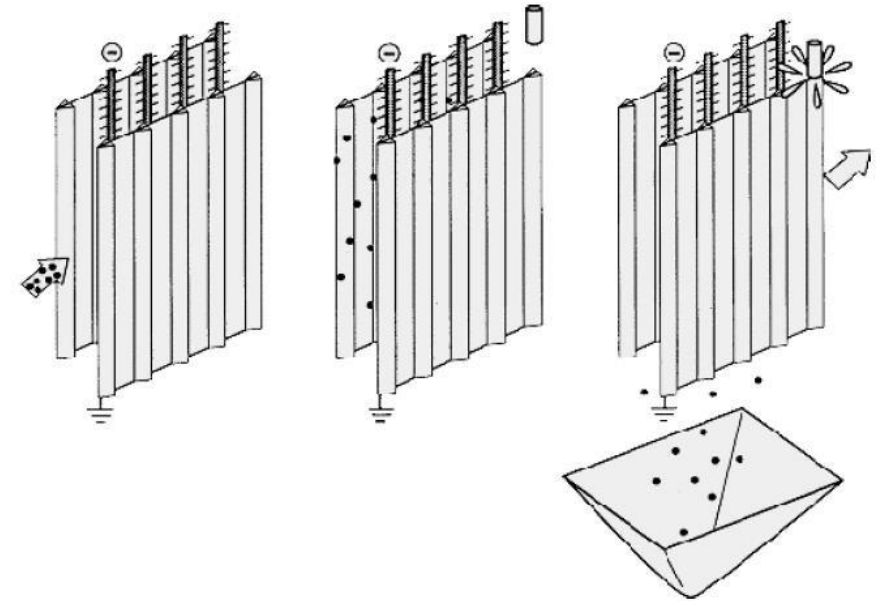
Αρχή λειτουργίας:

1.Ιονισμός σωματιδίων: Το απαέριο περνά μέσα από ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Προκαλείται ιονισμός του αερίου και φόρτιση των σωματιδίων (θετικά ή αρνητικά).

2.Έλξη προς ηλεκτρόδια συλλογής: Τα φορτισμένα σωματίδια έλκονται από αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια και προσκολλώνται (στρώμα σκόνης)

3.Απομάκρυνση σωματιδίων: Η σκόνη που έχει συσσωρευτεί απομακρύνεται από τα ηλεκτρόδια μέσω

- Αποτελεσματικός για σωματίδια μικρής αεροδυναμικής διαμέτρου
- Μεγάλο κόστος επένδυσης και λειτουργίας
- Ακατάλληλο για κολλώδη σωματιδιακή ύλη



Μείωση Αέριας Ρύπανσης - Φίλτρα

- **Επιφανειακά Φίλτρα ή Σακκόφιλτρα:** υφασμάτινοι ή συνθετικοί σάκοι με δυνατότητα συγκράτησης σωματιδίων διαφόρων αεροδυναμικών διαμέτρων (εως $1\mu m$)

Αρχή λειτουργίας:

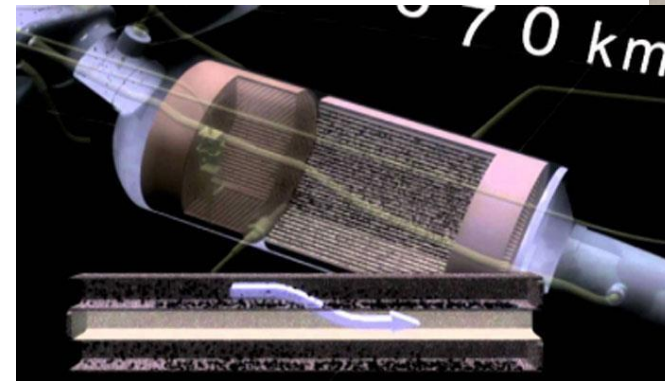
παγιδεύουν τα αιωρούμενα σωματίδια στην επιφάνειά τους, επιτρέποντας στο καθαρό αέριο να περάσει.

Καθαρισμός:

περιοδικά με μηχανικούς ή αεροδυναμικούς τρόπους:

1. Ανακίνηση των σάκων.
2. Αντίστροφη ροή καθαρού αέρα (reverse air).
3. Παλμούς πεπιεσμένου αέρα (pulse-jet).

- Οικονομική λύση (λατομεία, σιλό κλπ)
- Κατάλληλο για απαέρια υψηλής υγρασίας (με ειδικό υφασμάτινο σάκο)



Μείωση Αέριας Ρύπανσης - Φίλτρα

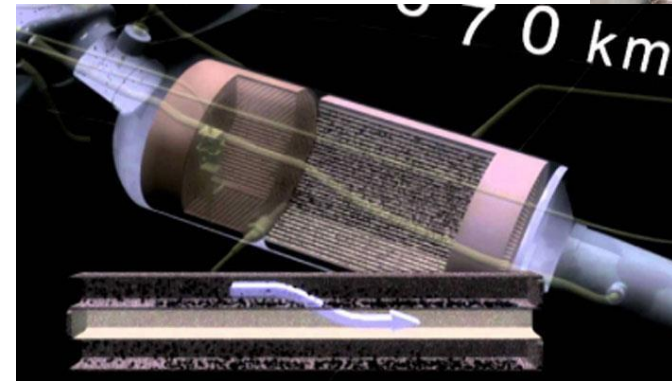
- **Φίλτρα βαθιάς διήθησης:** συγκράτηση σωματιδίων σε όλο το βάθος του φίλτρου (πορώδη υλικά, όπως υαλοβάμβακας, ίνες άνθρακα ή κεραμικά)

Αρχή λειτουργίας:

επιτρέπουν στα σωματίδια να διεισδύσουν μέσα στη δομή του φίλτρου, όπου παγιδεύονται σε βάθος (παρέχει αυξημένη χωρητικότητα για συγκράτηση ρύπων και συχνά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής)

Μηχανισμοί συγκράτησης σωματιδίων:

1. **Αδράνεια:** Τα μεγαλύτερα σωματίδια αποκλίνουν από τη ροή του αέρα και παγιδεύονται.
 2. **Διάχυση:** Τα μικρότερα σωματίδια παγιδεύονται λόγω της τυχαίας κίνησης (Brownian motion).
 3. **Ηλεκτροστατική έλξη:** Τα φορτισμένα σωματίδια έλκονται από τις ίνες του φίλτρου.
- Χρήση σε τσιγάρα και οχήματα ντίζελ
 - Υψηλή αποδοτικότητα (>99%) για σωματίδια < 1 μ m
 - Απαιτείται περιοδικός καθαρισμός του φίλτρου



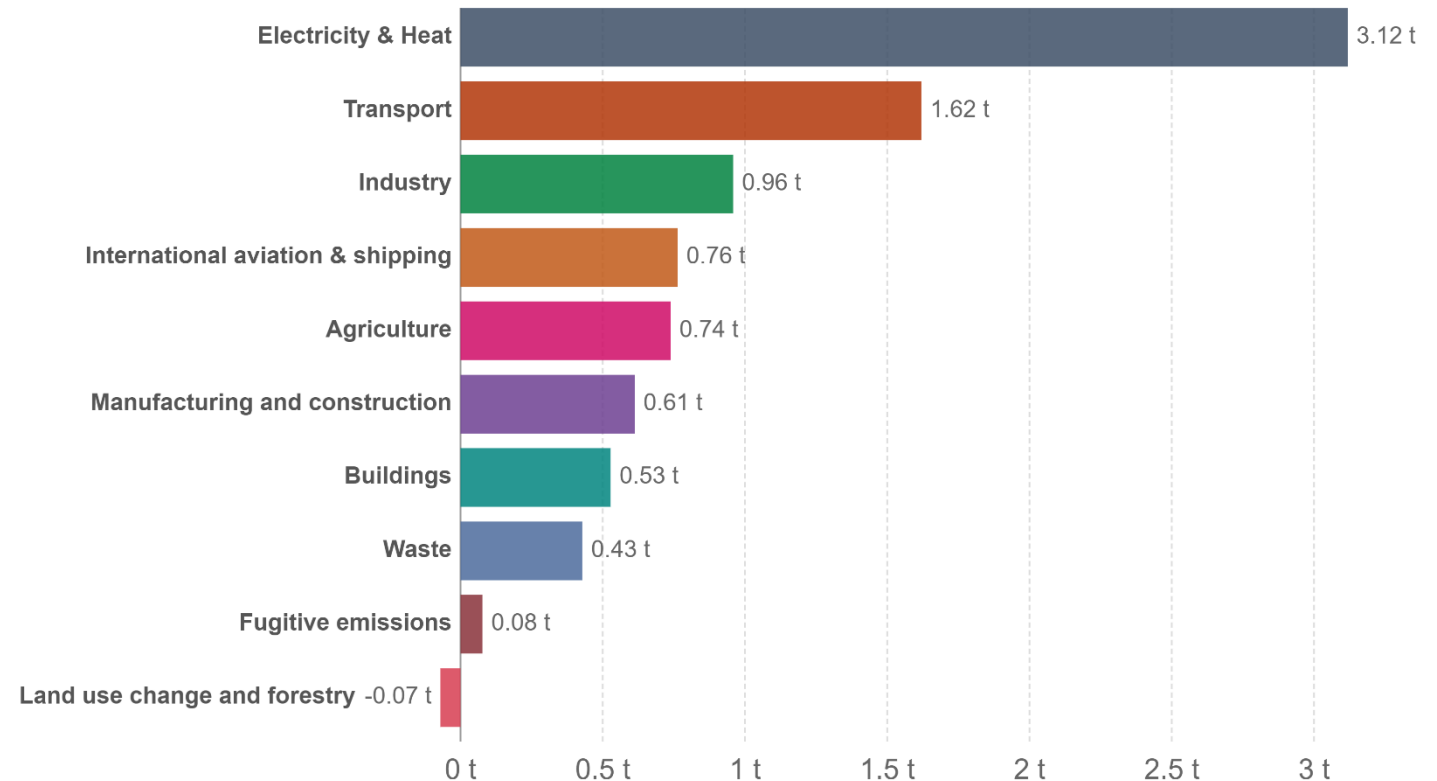
Μείωση Αέριας Ρύπανσης (δράσεις ΕΕ)

- Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών στον κλάδο της βιομηχανίας
- Εισφορά άνθρακα σε εισαγωγές αγαθών
- Μείωση των εκπομπών άνθρακα σε άλλους τομείς
 - Νέες αποδοτικότερες τεχνολογίες καύσης
 - Χρήση βιοκαυσίμων
 - Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
 - Δέσμευση και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα
- Τα δάση και η κλιματική αλλαγή
- Μειώνοντας τις εκπομπές CO₂ αυτοκινήτων

Per capita greenhouse gas emissions by sector, Greece, 2016

Per capita greenhouse gas emissions are measured in tonnes of carbon-dioxide equivalents (CO₂e) per person per year. This metric converts all greenhouse gases to CO₂e based on their global warming potential value over a 100-year timescale.

Our World
in Data

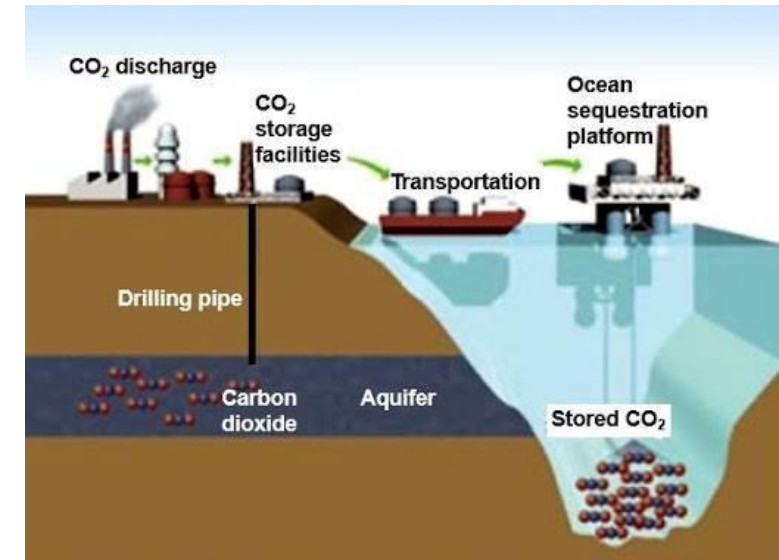
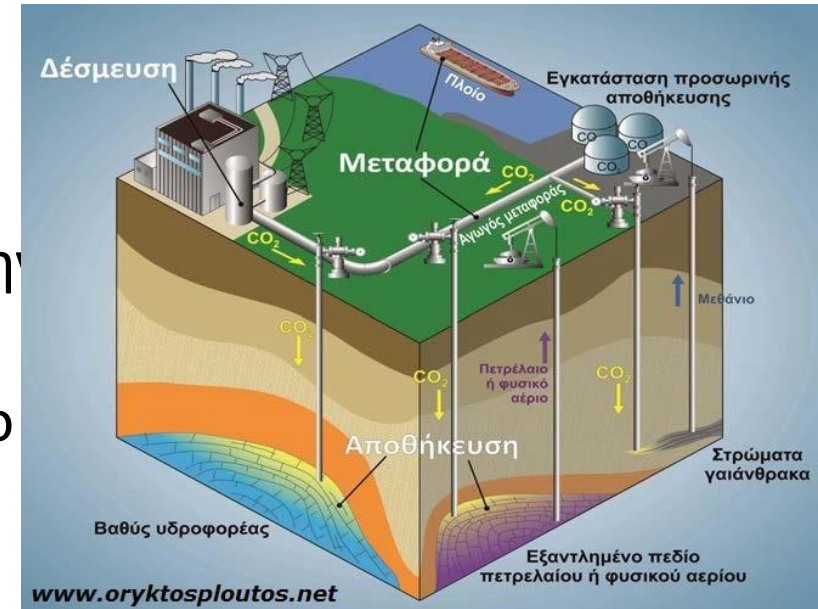


Source: CAIT Climate Data Explorer via. Climate Watch

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

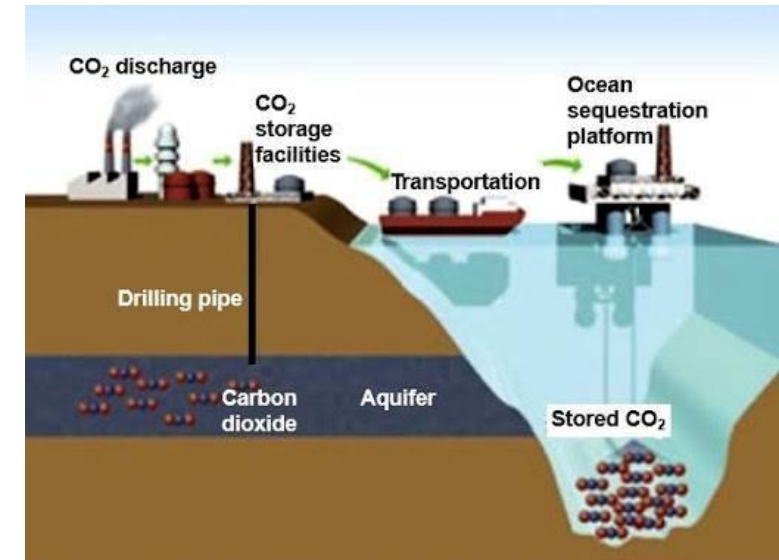
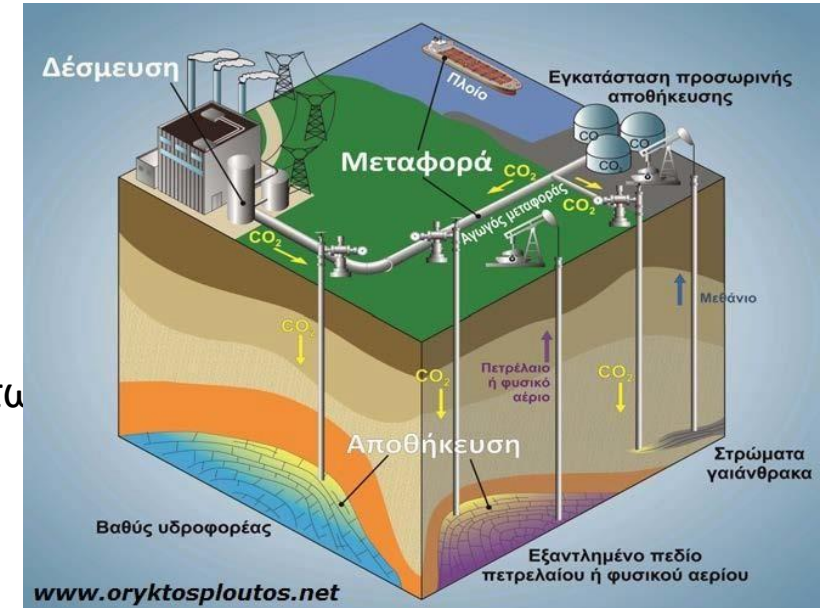
Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Δέσμευση και αποθήκευση CO₂
 - Τεχνικές
 - Διαχωρισμός CO₂ από το καυσάεριο (δέσμευση μετά την καύση “Post-combustion”). [?]
 - Διαχωρισμός CO₂ στο μείγμα καυσίμου (δέσμευση προ της καύσης “Pre-combustion”) [?]
 - Καύση σε συνθήκες καθαρού οξυγόνου (oxyfuel). [?]



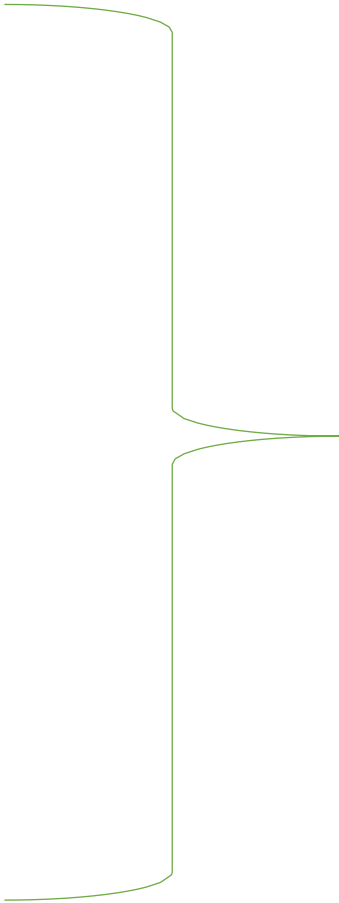
Μείωση Αέριας Ρύπανσης

- Δέσμευση και αποθήκευση CO₂
 - Τεχνικές
 - Σε διάλυμα αμινών (αζωτούχες οργανικές ενώσεις)
 - Μεγάλο κόστος επένδυσης και λειτουργίας
 - Μειωμένος βαθμός απόδοσης λόγω της ανάγκης αναγέννησης των αμινών
 - Χρήση καθαρού O₂ κατά την καύση (αντί αέρα)
 - Απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών λόγω απουσίας N₂ (>3500K)
 - Αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση
 - Απομάκρυνση C πριν την καύση (ενδόθερμη αντίδραση)
 - Το δεσμεύεται από μείγμα αερίων με ελάχιστες προσμίξεις
 - Χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση
 - Κρυογενική (διαχωρισμός με ψύξη και συμπύκνωση)
 - Εύκολη μεταφορά διότι παράγει απευθείας υγροποιημένο CO₂
 - Αυξημένη ποσότητα ενέργειας για την παροχή της απαραίτητης ψύξης
 - Απομάκρυνση συστατικών πριν την ψύξη για την αποφυγή εμπλοκών



Εκπομπές ρύπων από ανθρωπογενή δραστηριότητα

- Πηγές Αέριων Ρύπων
 - Σταθμοί παραγωγής και μετατροπής ενέργειας
 - Μέσα μεταφοράς
 - Βιομηχανία
 - Καλλιεργούμενες εκτάσεις
- Πηγές Σωματιδίων
 - Βιομηχανική καύση
 - Παραγωγή ενέργειας
 - Εξόρυξη ορυκτών καυσίμων
 - Μεταφορές



Χαρακτηριστικά
κάθε ρύπου
εξαρτώνται από τα
χαρακτηριστικά
κάθε πηγής

Εκπομπές ρύπων από βιοσφαιρα - γεώσφαιρα

- Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από τη βλάστηση
- Εκπομπές σωματιδίων άλατος από τη θάλασσα
- Εκπομπές αέριων ρύπων από το έδαφος
 - Οξείδια του αζώτου
 - Σωματίδια σκόνης
- Εκπομπές ρύπων από πυρκαγιές
- Διασυνοριακή ρύπανση
 - Από την Ευρώπη
 - Από την Αφρική

<https://waqi.info/el/>

