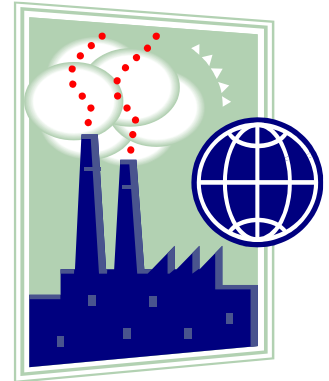


Μηχανική Περιβάλλοντος

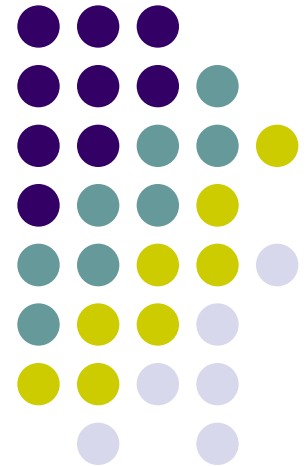
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



Τεχνολογίες Αντιρρύπανσης &

Αντιρρυπαντική Τεχνολογία



Περιεχόμενα

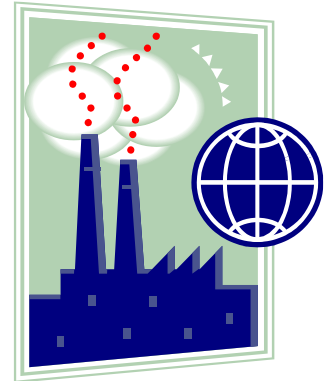


- Κινητές πηγές - Καταλυτικός μετατροπέας
- Στατικές Πηγές
- Απορρόφηση και Είδη Απορροφητών
- Προσρόφηση
- Φυσικές ιδιότητες προσροφητών και Είδη Προσροφητών
- Απομάκρυνση VOCs από απαέρια
- Αναγέννηση στήλης προσρόφησης
- Ρύπανση από βιομηχανικές διεργασίες
- Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων
- Κατανομή μεγέθους σωματιδίων
- Μηχανικοί και Βαρυτικοί συλλέκτες
- Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία και Κυκλώνες
- Καύση απαερίων - Κινητική καύσης αερίων
- Σακκόφιλτρα, Εκπλυτές (υγρά φίλτρα), Ηλεκτροστατικά φίλτρα
- ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020

Μηχανική Περιβάλλοντος

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



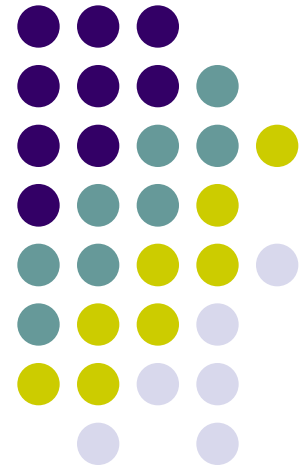
Ενότητα 1

Τεχνολογίες καταστροφής αερίων ρύπων

Τεχνολογίες αντιρρύπανσης : Τεχνολογίες που αναπτύσσονται για να αντιμετωπίσουν ένα υπαρκτό πρόβλημα ρύπανσης

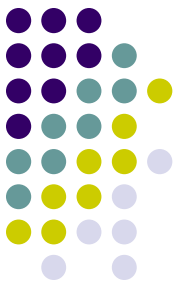
Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες : Τεχνολογίες που αναπτύσσονται για την αποφυγή «στη γέννησή τους» της δημιουργίας ρύπων

1. Αντιμετώπιση των εκπομπών των αυτοκινήτων
2. Αντιμετώπιση των εκπομπών από στάσιμες πηγές (βιομηχανία)



Κινητές πηγές

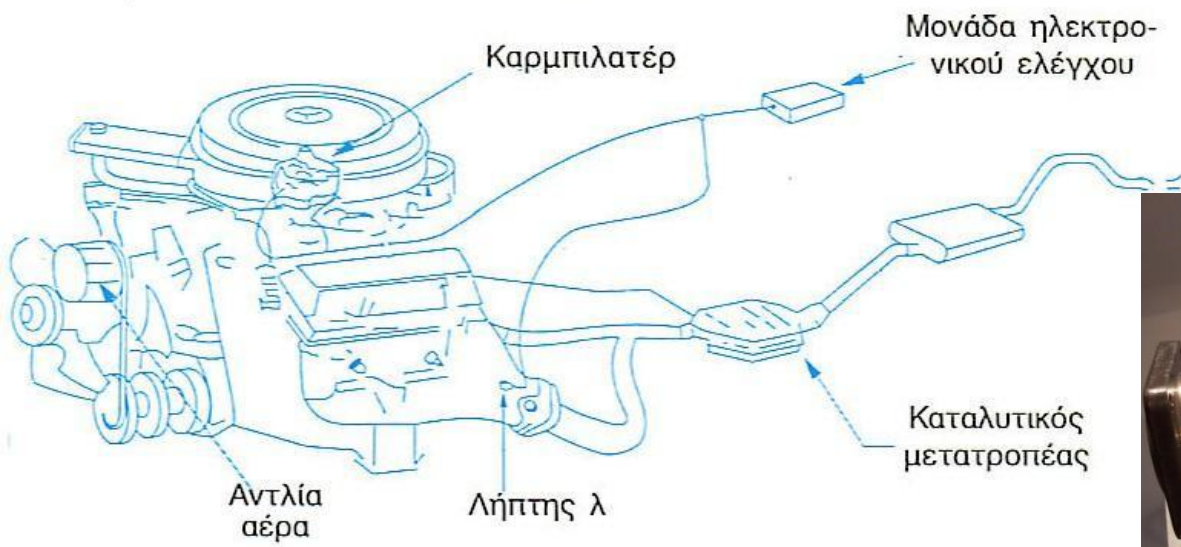
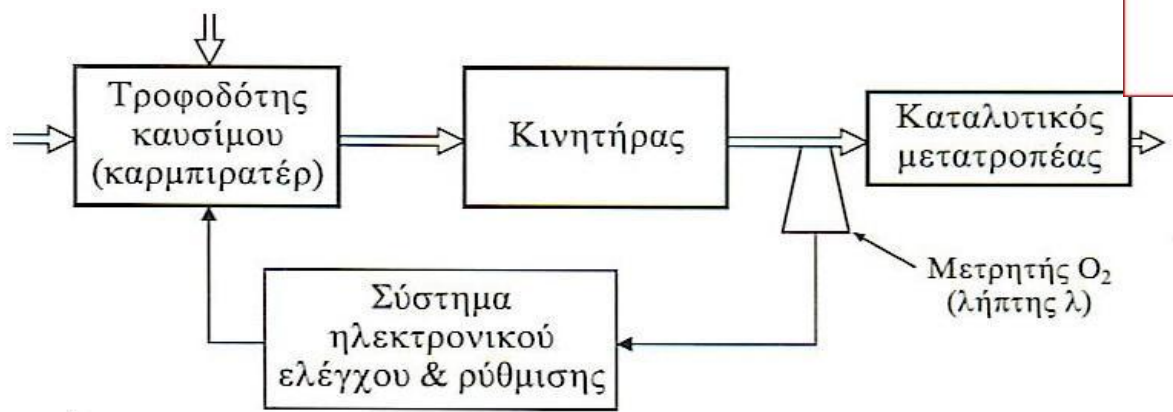
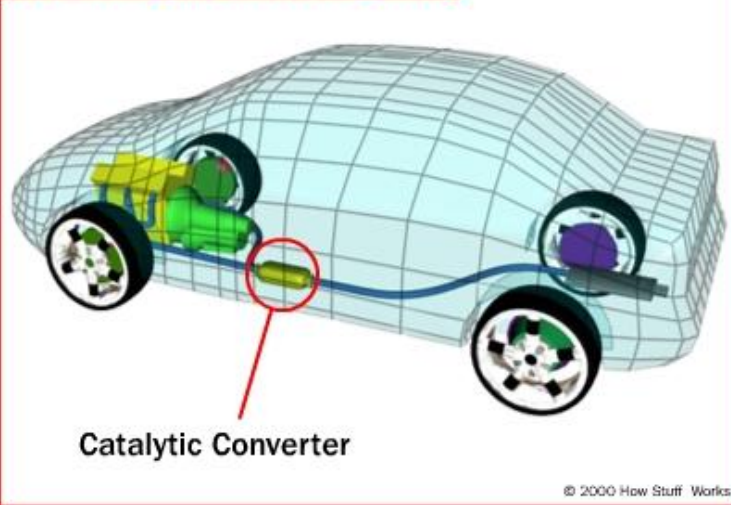
Καταλυτικός μετατροπέας



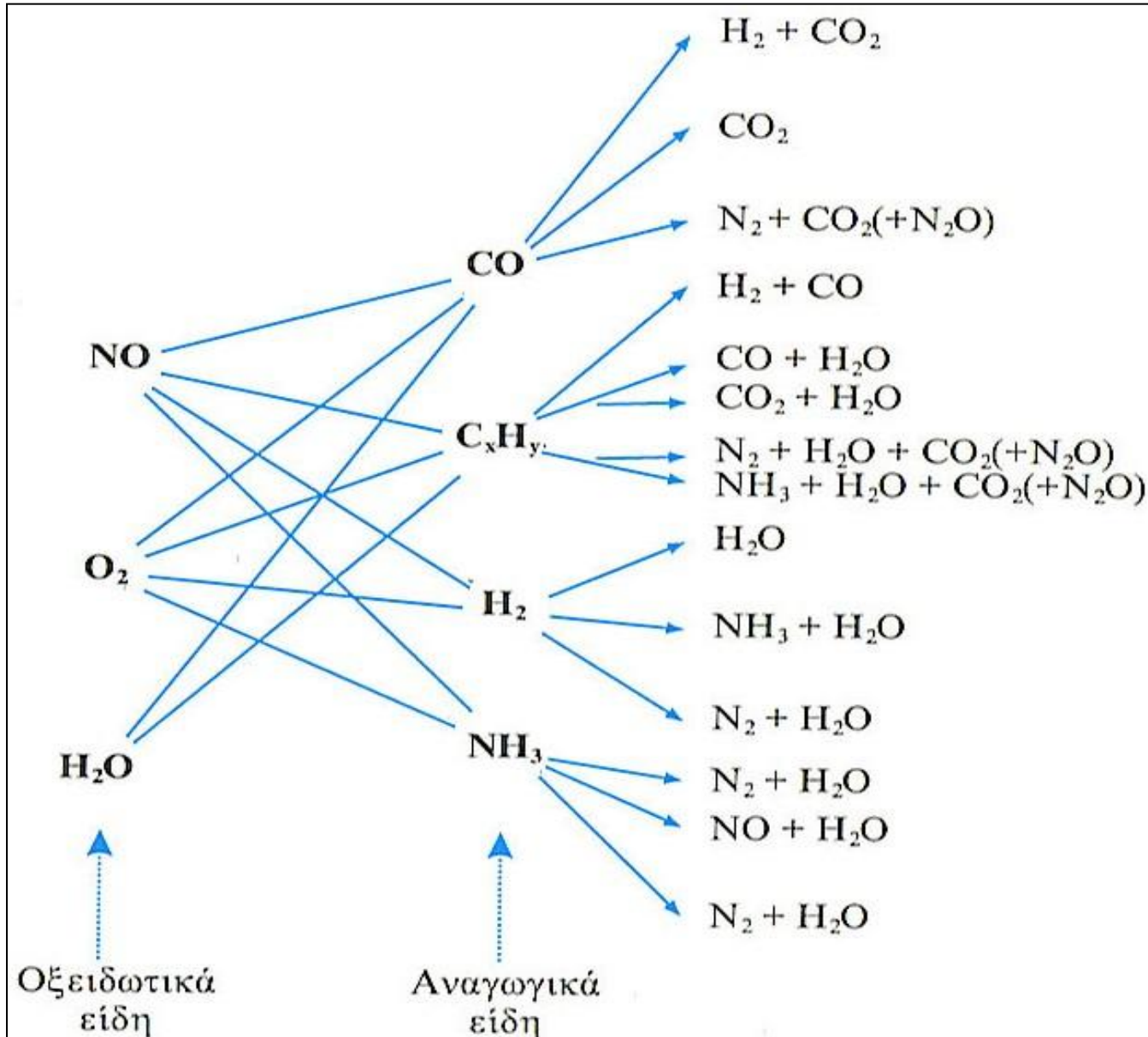
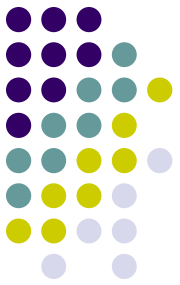
- Συσκευή που τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων των αυτοκινήτων με σκοπό την μετατροπή των εκπεμπόμενων ρύπων σε «αβλαβή» για την ατμόσφαιρα αέρια
- Οι κυριότερες αντιδράσεις καταστροφής ρύπων είναι :
 - Αντιδράσεις οξείδωσης:
 - $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
 - $\text{C}_x\text{H}_y + (x+y/4) \text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + (y/2) \text{H}_2\text{O}$
 - Αντιδράσεις αναγωγής των NO_x :
 - $\text{NO} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{N}_2 (+\text{N}_2\text{O})$
 - $(2x+y/2) \text{NO} + \text{C}_x\text{H}_y \rightarrow x\text{CO}_2 + (x+y/4)\text{N}_2 + (y/2)\text{H}_2\text{O} (+\text{N}_2\text{O})$

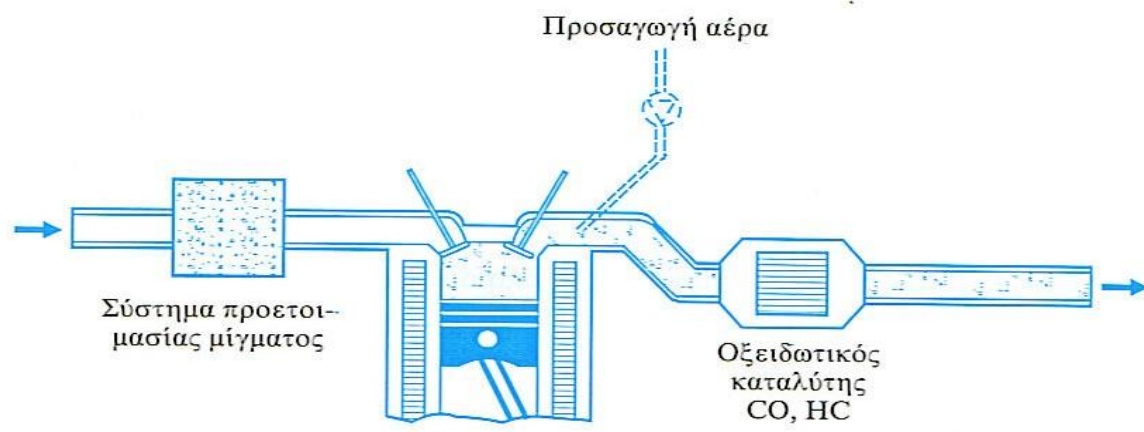
Καταλυτικός μετατροπέας

How Catalytic Converters Work

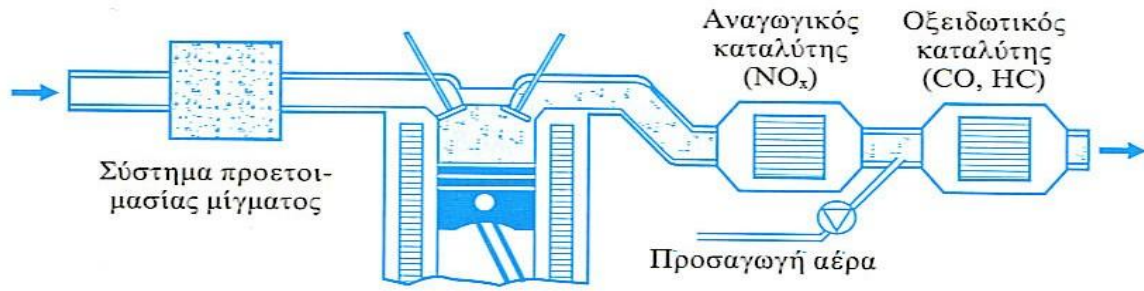


Πιθανές χημικές αντιδράσεις σε καταλυτικό μετατροπέα

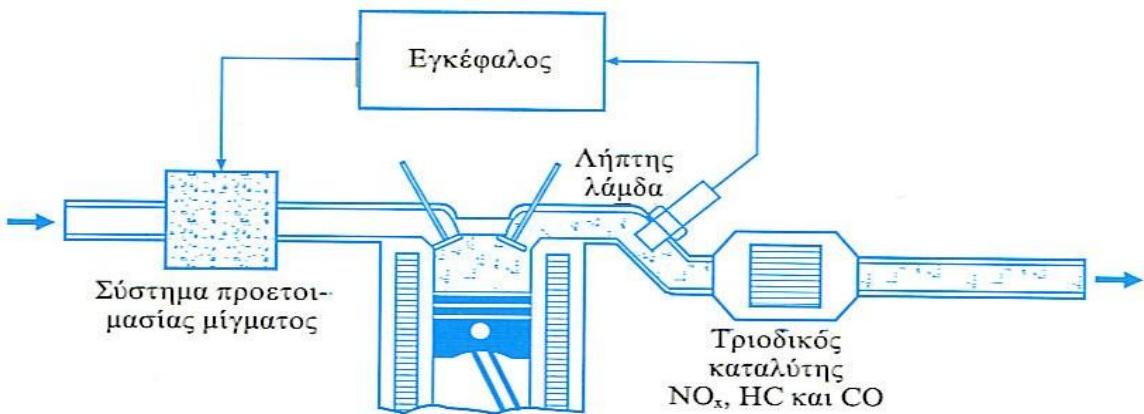




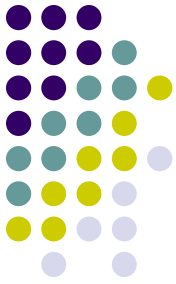
(α) Οξειδωτικός καταλύτης



(β) Καταλύτης διπλής κλίνης

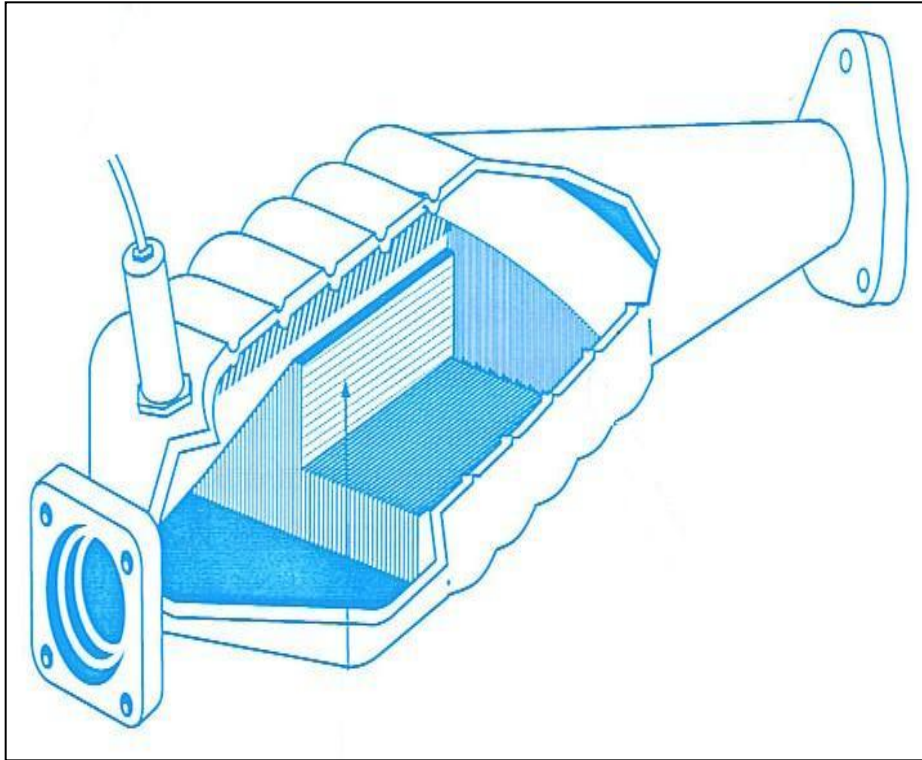


(γ) Τριοδικός καταλύτης



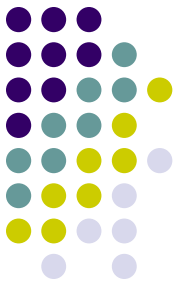
Οι 3 τύποι καταλυτικών μετατροπέων

Ο τριοδικός καταλυτικός μετατροπέας αποτελείται από :



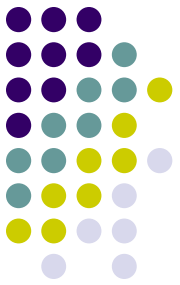
- Μεταλλικό εξωτερικό περίβλημα
- Ένα κεραμικό κυψελοειδούς μορφής με διαμήκη κανάλια ($400/\text{in}^2$)
- Μια ενδιάμεση επίστρωση (wash coat) με υλικό μεγάλης επιφάνειας, (π.χ. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{gr}$) σε ποσότητα $\sim 20\%$ κ.β. στην οποία είναι υποστηριγμένες οι καταλυτικά ενεργές φάσεις
- Τις καταλυτικά ενεργές φάσεις (Pt, Pd, Rh ή συνδυασμός αυτών)
- Το λήπτη λάμδα (λ), αισθητήρας O_2 ηλεκτροχημικού τύπου που ελέγχει συνεχώς της συγκέντρωση O_2 στα καυσαέρια και ρυθμίζει αυτόματα την αναλογία καύσιμου-αέρα στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα

Χαρακτηριστικά κατασκευής και συνθηκών λειτουργίας του τριοδικού καταλυτικού μετατροπέα



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	
ΦΟΡΕΑΣ	Μονόλιθος κορδιερίτη (~400 κανάλια/in ² , πάχος τοιχώματος ~0.15mm)
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ (wash coat)	γ-Al ₂ O ₃ (+πρόσθετα: CeO ₂ , BaO, La ₂ O ₃ , NiO)
ΕΝΕΡΓΕΣ ΦΑΣΕΙΣ	Pt, Rh, Pd: Pt/Rh=5/1: (1.25-1.5 g/l)
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	0.45 kg/l
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	300-900°C
ΧΡΟΝΟΣ ΧΩΡΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	100,000-200,000 hr ⁻¹
ΚΥΒΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ / ΟΓΚΟ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	0.8-1.5
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΡΥΠΩΝ	Σε λ=0.99±0.06: HC _s >80%, CO & NO>70%

Ευγενή μέταλλα τριοδικών καταλυτών



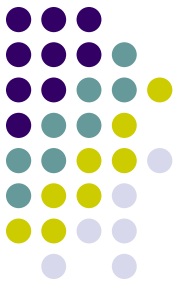
- **Λευκόχρυσος (Pt)**

- Πολύ καλός καταλύτης οξείδωσης του CO και των HCs
- Εμφανίζει ασήμαντη δραστικότητα και χαμηλή N₂/N₂O εκλεκτικότητα για τις αντιδράσεις αναγωγής των NO_x

- **Παλλάδιο (Pd)**

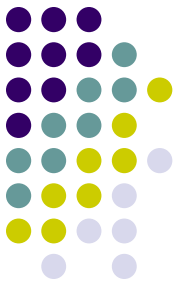
- Καλός καταλύτης οξείδωσης του CO και των HCs
- Καλύτερη αναγωγική δράση από τον Pt, αλλά όχι επαρκής
- Φθηνότερο από τα άλλα ευγενή μέταλλα

Ευγενή μέταλλα τριοδικών καταλυτών



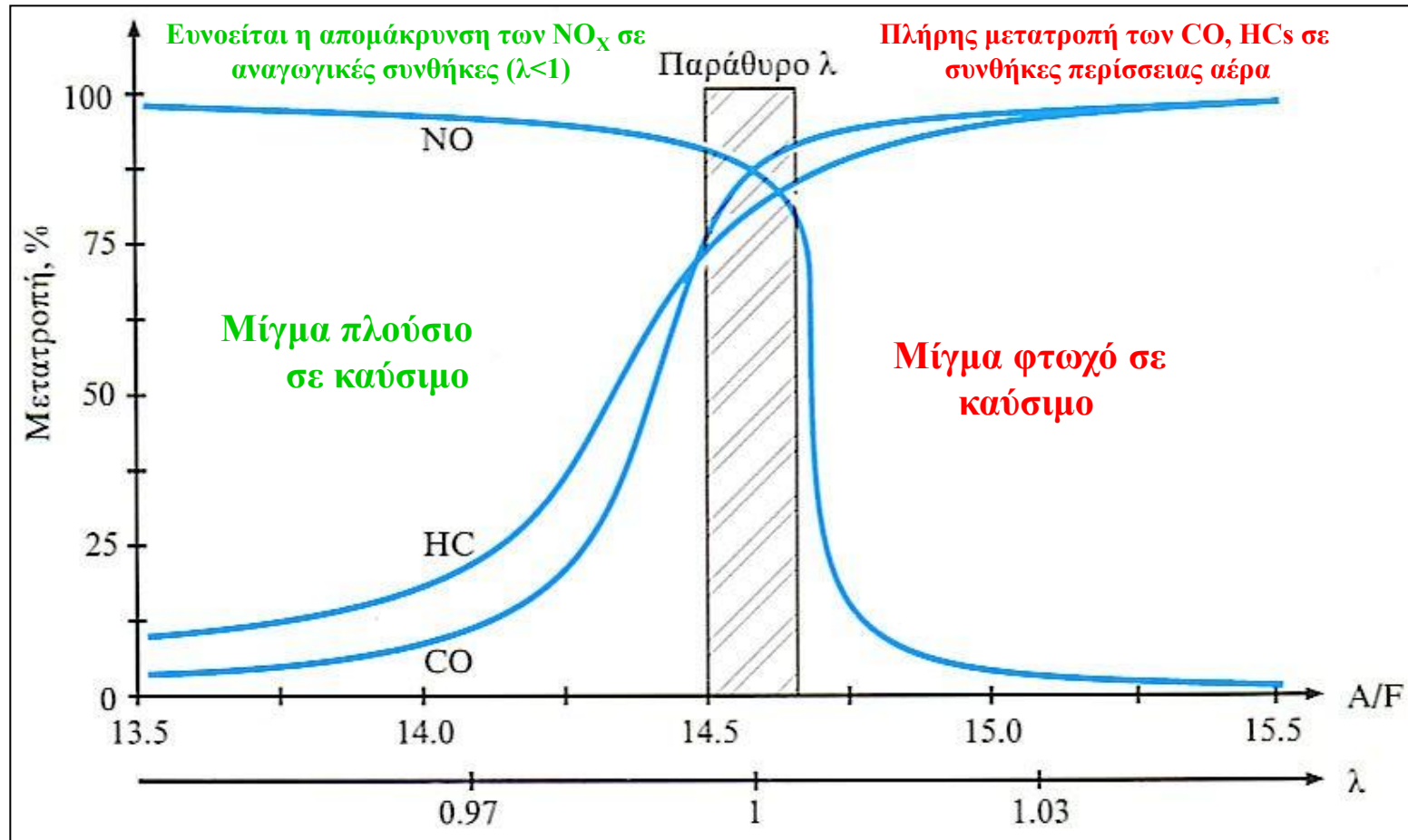
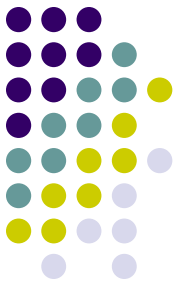
- **Ρόδιο (Rh)**
 - Ισχυρή αναγωγική δραστικότητα (ολοκληρωτική διασπαστική ρόφηση του NO)
 - Πολύ σπανιότερο σε σχέση με το Pt, Pd → πολύ ακριβότερο
 - Επιθυμητή η μείωση της χρήσης τους (Rh/Pt=1/5 στον καταλυτικό μετατροπέα, Rh/Pt=1/15 στη φύση)
- **Άλλα ευγενή μέταλλα**
 - **Ιρίδιο (Ir)**
 - Καλύτερος καταλύτης για την αναγωγή του NO σε N₂ σε οξειδωτικά περιβάλλοντα
 - Σπανιότητα, σχηματισμός πτητικών οξειδίων και εξαφάνισή του από τον μετατροπέα → απαγορευτική η χρήση του
 - **Ρουθένιο (Ru)**
 - Καλός καταλύτης αναγωγής
 - Σχηματισμός πτητικών οξειδίων

Ρύθμιση τριοδικών καταλυτών



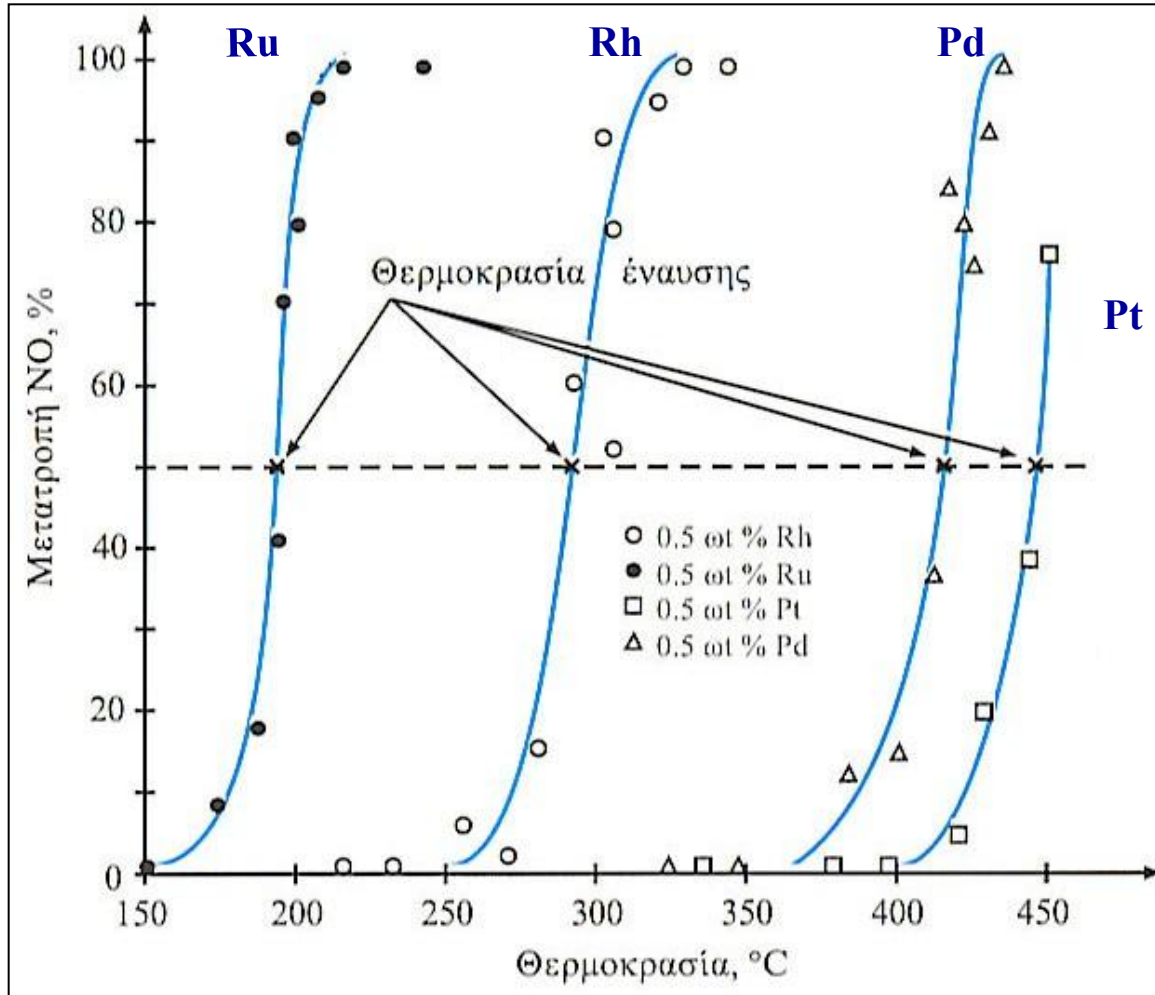
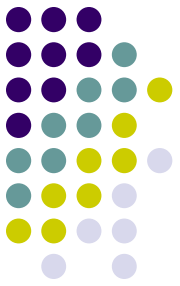
- Τριοδικός καταλύτης + λήπτης λάμδα (λ) + ηλεκτρονικό σύστημα \rightarrow μίγμα αέρα-καυσίμου σε στοιχειομετρική αναλογία με βάση την τέλεια καύση υδρογονάνθρακα C_xH_y
- $C_xH_y + (x+y/4) O_2 \rightarrow xCO_2 + (y/2) H_2O$
- $(\text{Αέρας/Καύσιμο})_{\text{στοιχ.}} = (A/F)_{\text{στοιχ.}} = 14,7$
- $\lambda = (A/F)/(A/F)_{\text{στοιχ.}}$
 - $\lambda > 1$ μίγμα φτωχό σε καύσιμο
 - $\lambda < 1$ μίγμα πλούσιο σε καύσιμο

Ρύθμιση τριοδικών καταλυτών



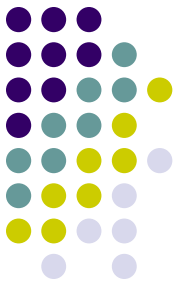
Σχήμα. Απόδοση των τριοδικών καταλυτικών μετατροπέων συναρτήσει του λόγου αέρα/καυσίμου – Παράθυρο λ .

Λειτουργικότητα καταλυτικών μετατροπών



Σχήμα. Τυπικά διαγράμματα θερμοκρασίας έναυσης (μεταβολή της μετατροπής με την θερμοκρασία, Light-off temperature). Σύγκριση της δραστηριότητας ευγενών μετάλλων για την αναγωγή του NO. Σύσταση τροφοδοσίας 0,5% NO, 2,0% CO σε αργό (Ar).

Απενεργοποίηση των καταλυτικών μετατροπών



Η λειτουργικότητα (απόδοση) υποβαθμίζεται με το χρόνο:

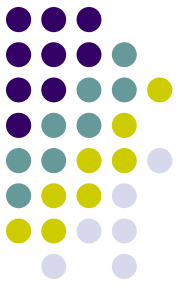
1. Εξαιτίας της σταδιακής δηλητηρίασης (απενεργοποίησης) των δραστικών μετάλλων

- Που προκαλείται από την κατασταλτική δράση ορισμένων στοιχείων που περιέχονται στα καύσιμα (P, Pb, S, Mn, C, κτλ.)
- Προσρόφησή τους στην ενεργή επιφάνεια των ευγενών μετάλλων
- Ελάττωση της καταλυτικά ενεργής επιφάνειας
- Μείωση της απόδοσης του καταλύτη

2. Εξαιτίας της θερμικής γήρανσης

- Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν τη σύντηξη των κρυσταλλιτών των ευγενών μετάλλων και την ελάττωση της ενεργής επιφάνειας του καταλύτη
- Κραματοποίηση Rh με το Pd → μειωμένη δραστηριότητα στις σχετικές αντιδράσεις

Στατικές Πηγές

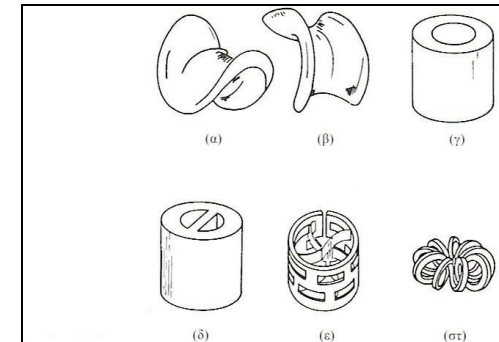
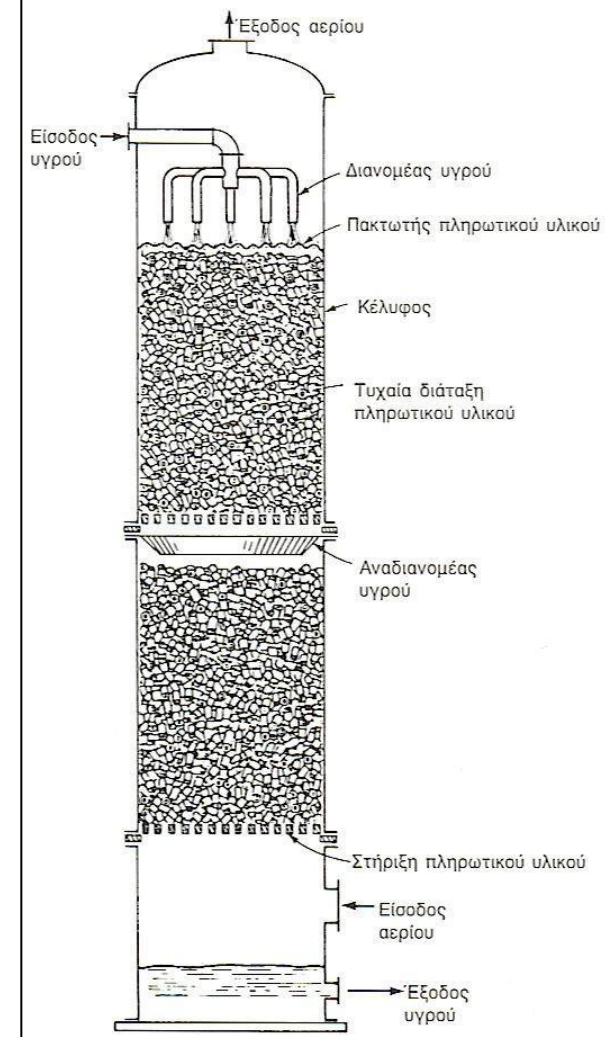


- Κύριες τεχνικές διαχωρισμού και απομάκρυνσης αέριων ρύπων που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία :
 1. Απορρόφηση με υγρά
 2. Προσρόφηση με στερεούς προσροφητές
 3. Συμπύκνωση
 4. Χημική μετατροπή με καυστήρες ή με καταλυτικά φίλτρα

Απορρόφηση (absorption)

(επιλεκτική μεταφορά μιας ουσίας από ένα αέριο σε ένα υγρό με το οποίο βρίσκεται σε επαφή)

- Διάχυση της ουσίας από ένα αέριο διαμέσου της διεπιφάνειας αερίου-υγρού με τελική κατάληξη τη διασπορά της ουσίας στο υγρό
- Διεργασία : καθαρισμός αερίου (scrubbing), ή πλύση (washing)
- Επιλογή υγρού επαφής (έκπλυσης) : υψηλή διαλυτότητα του αερίου, μη διαβρωτικό, μη τοξικό, μη εύφλεκτο, χημικά σταθερό (στην πλειοψηφία των εφαρμογών H_2O)
- Πραγματοποιείται συνήθως σε πύργους με πληρωτικό υλικό. Το πληρωτικό υλικό είναι διαθέσιμο για διάφορα υλικά (χημικό κεραμικό, χημική πορσελάνη, ανοξείδωτος χάλυβας, πολυπροπυλένιο, κτλ.)
- Ροές αερίου – υγρού αντίστροφες
- Συνήθεις ρύποι που ελέγχονται με απορρόφηση είναι: SO_2 , H_2S , HCl , Cl_2 , NH_3 , HCs , οσμές, κτλ.



Limestone wet scrubber (Πηγή: US-EPA)

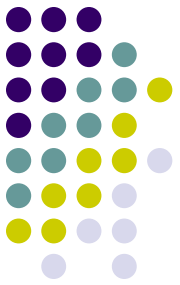
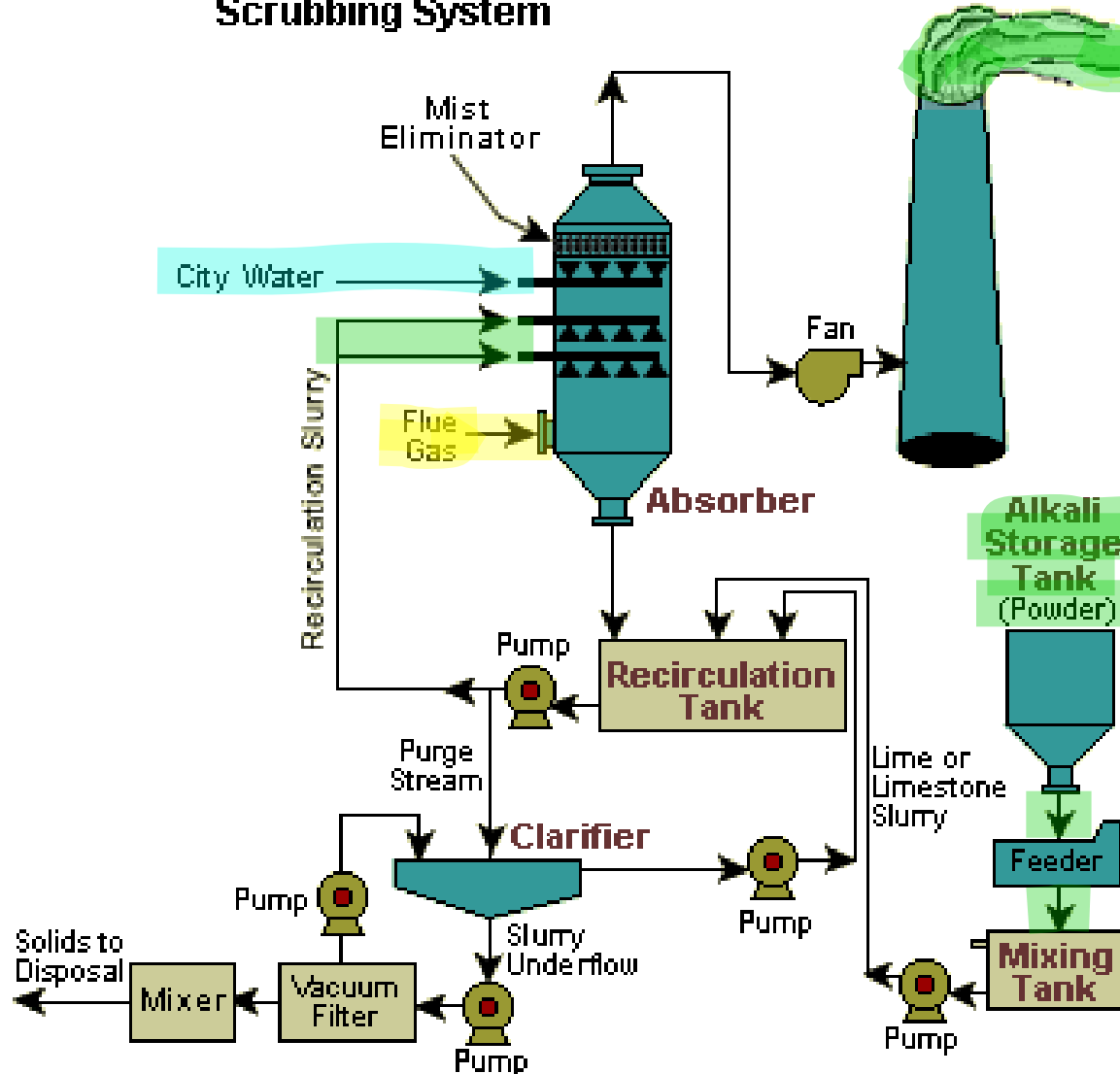


Figure 1. Example Flowchart of a Limestone-Based SO₂ Scrubbing System



Dry scrubber (Πηγή: US-EPA)

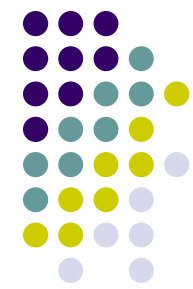


Figure 3. Spray-Dryer-Type Dry Scrubber

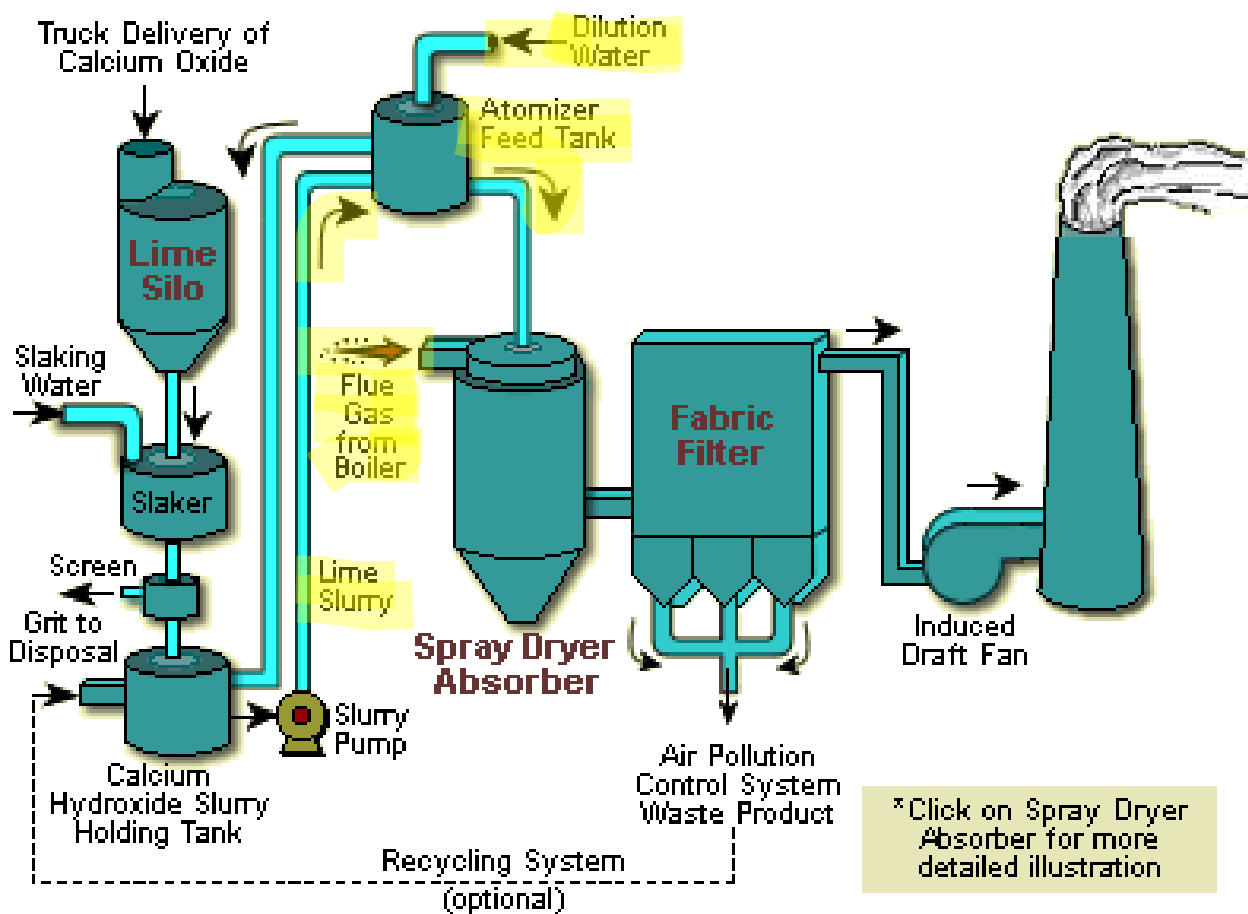
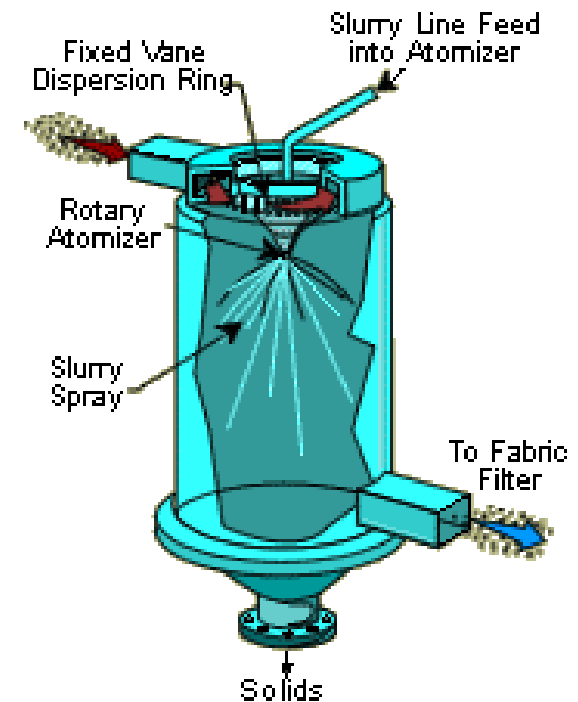
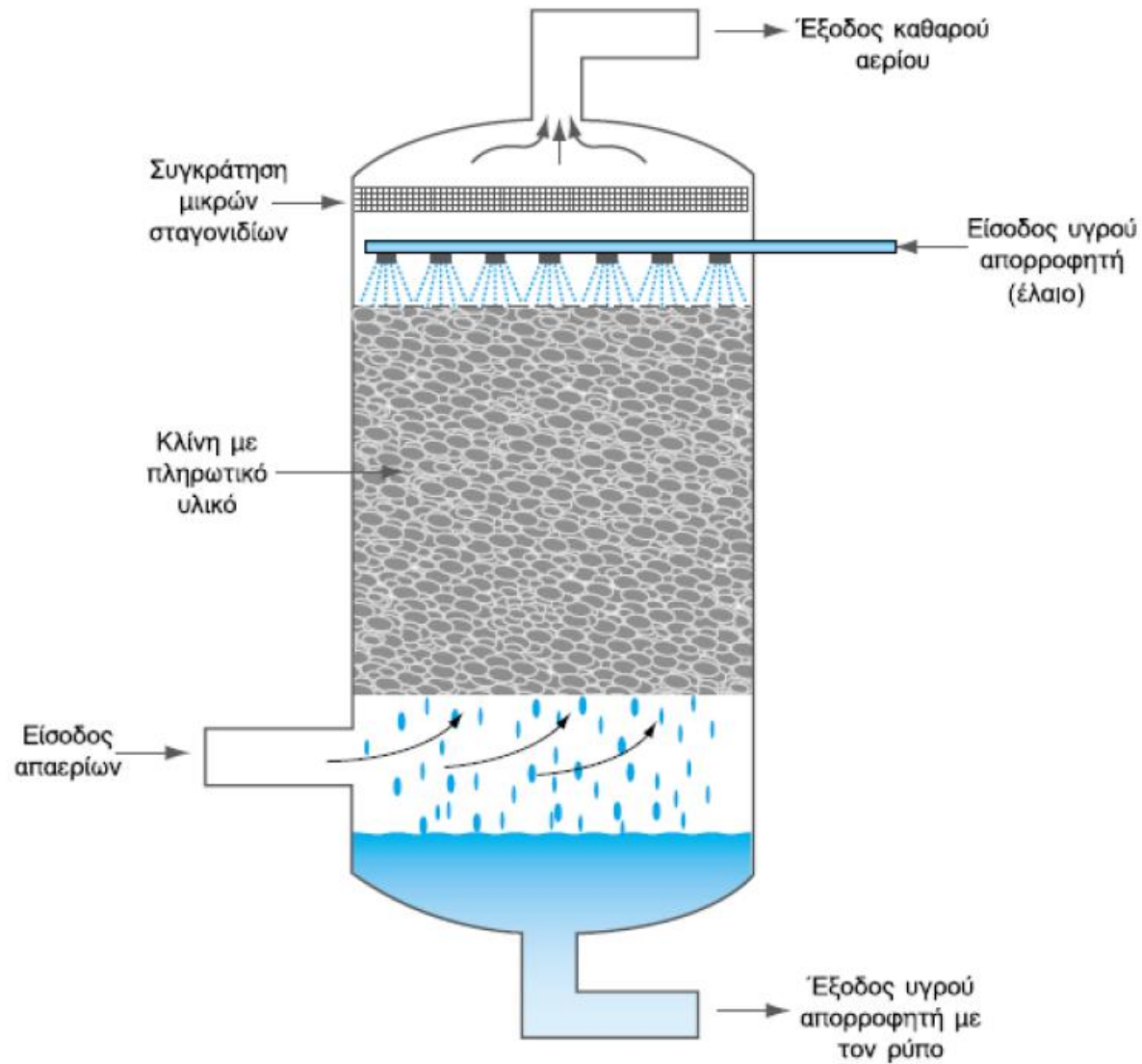
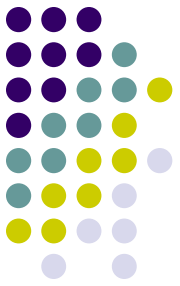


Figure 2. Spray Atomizer Dry Scrubber

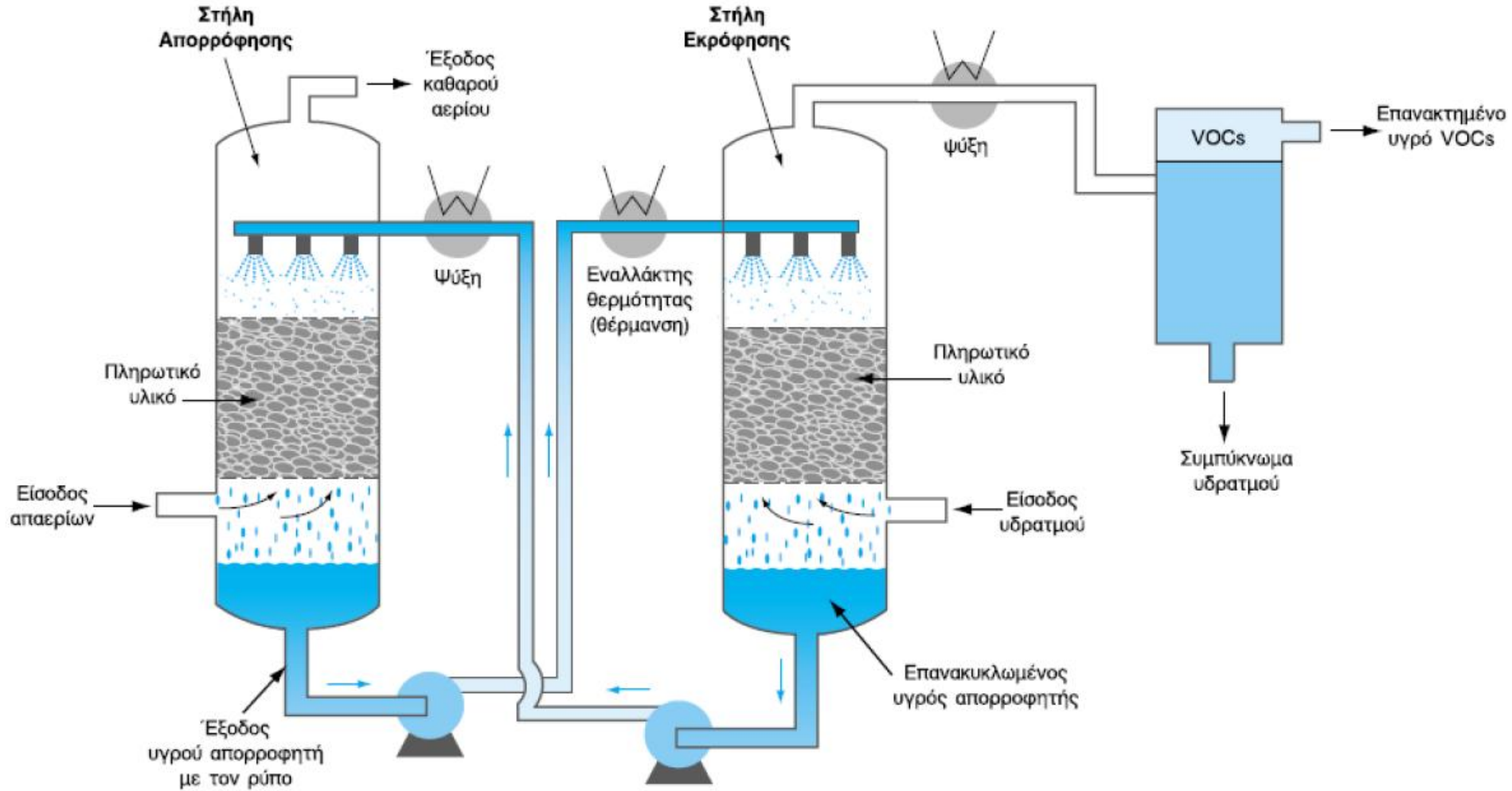


*Click on Spray Dryer Absorber for more detailed illustration

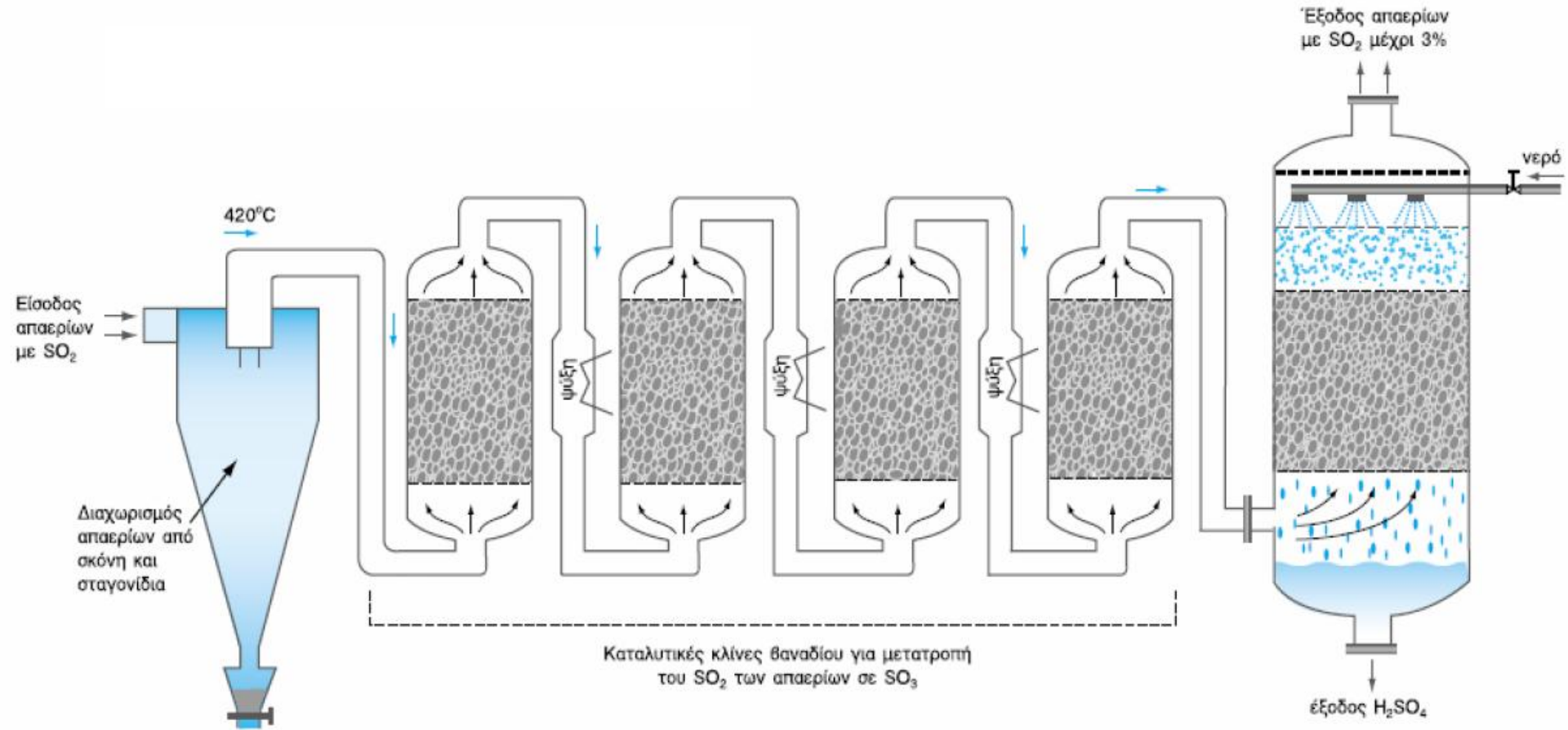
Απορρόφηση (absorption)



Απορρόφηση (absorption)

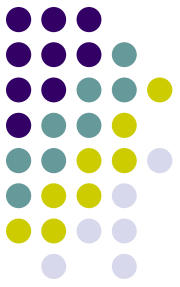


Απορρόφηση (absorption)



Προσρόφηση (adsorption)

(προσκόλληση ουσιών ενός αέριου ρεύματος εξόδου στην επιφάνεια πορωδών στερεών)



- Με κατάλληλη εκλογή του προσροφητή και του χρόνου επαφής είναι εφικτές πολύ υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης. Η διεργασία μπορεί να σχεδιαστεί και για την ανάκτηση της προσροφημένης ουσίας.
 - Φυσική προσρόφηση (προσρόφηση van der Waals) (επιφανειακό φαινόμενο μοριακών δυνάμεων)
 - Χημειορόφηση (επιφανειακή χημική αντίδραση αερίου-προσροφητή)
- Συνήθεις εφαρμογές:
 - έλεγχος οσμών,
 - ανάκτηση πτητικών διαλυτών (βενζόλιο, αιθανόλη, φρέον, κτλ.)
 - Διεργασίες ξήρανσης αέριων ρευμάτων

Φυσικές ιδιότητες προσροφητών



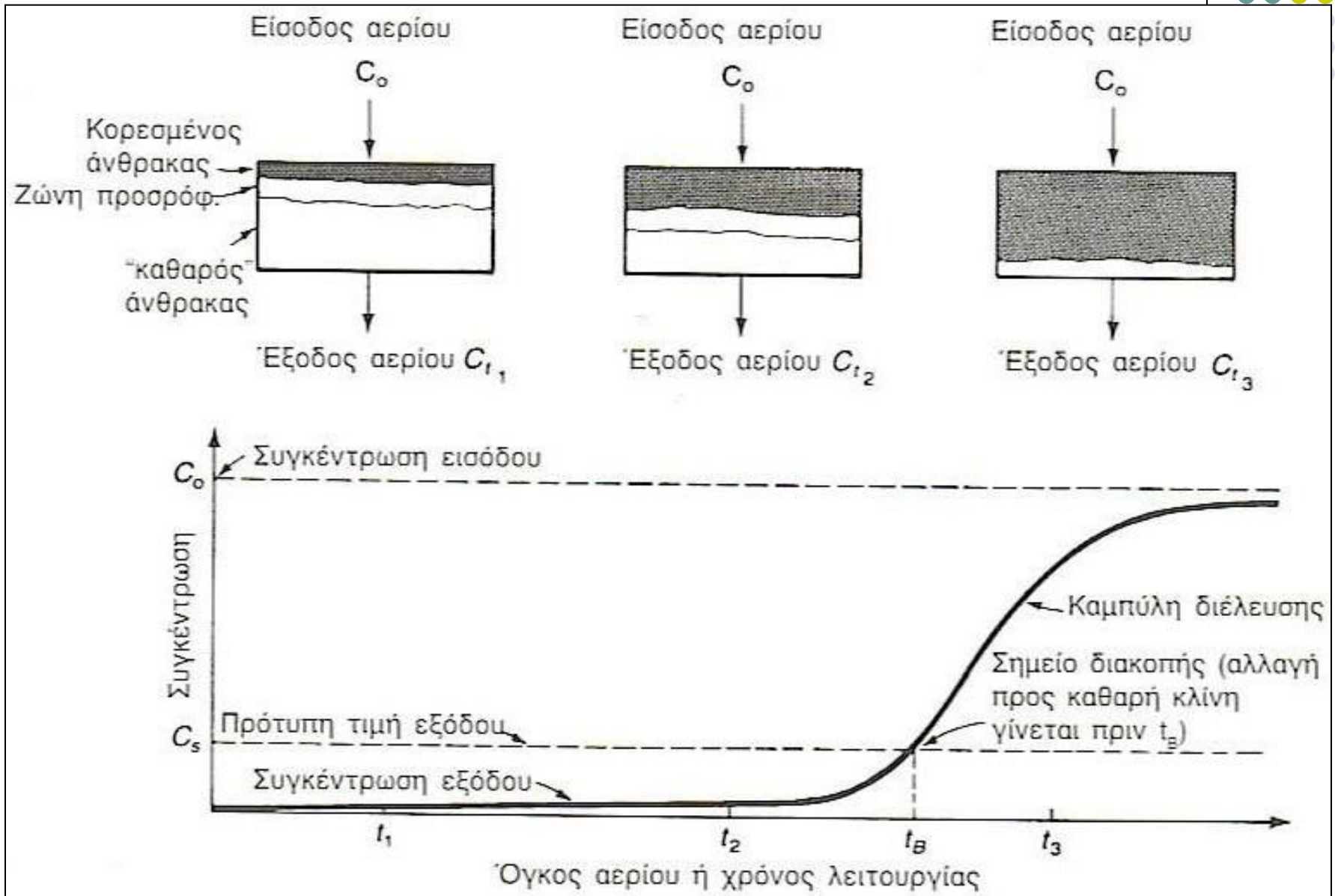
Πίνακας. Φυσικές Ιδιότητες Προσροφητών

Σύσταση	Εσωτερικό Πορώδες %	Εξωτερ. κλάσμα Κενού Όγκου %	Πυκνότητα ξηρού, lb _m /ft ³	Ειδική Επιφάνεια, m ² /g
Αργίλος όξινης επεξεργασίας	30	40	35–55	100–300
Ενεργός αλούμινα και Βωξίτης	30–40	40–50	45–55	200–300
Αργιλοπυριτικά “κόσκινα”	45–55	35	41–44	600–700
Οστεάνθρακας	50–55	18–20	40	100
Άνθρακες	55–75	35–40	10–30	600–1400
Διηθητική γη	50–55	40	30–40	130–250
Οξείδιο Σιδήρου	22	37	90	20
Μαγνήσια	75	45	25	200
Silica gel	70	40	25	320

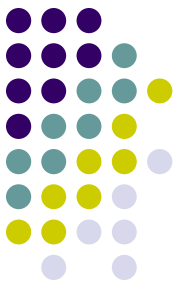
Προσαρμοσμένο από Standen, 1963 (a) και (b).

$$63 \text{ lb/ft}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$$

Κύμα προσρόφησης και καμπύλη διέλευσης



Προσρόφηση



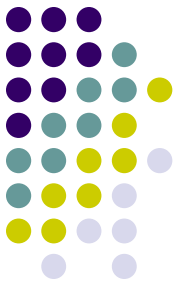
Σύστημα προσρόφησης σε
τερματικό σταθμό βενζίνης.

Στο σύστημα αυτό ο
άνθρακας προσροφά ατμούς
βενζίνης που εκτοπίζονται
από το βυτιοφόρο όχημα
κατά τη διάρκεια των
εργασιών φόρτωσης. Ο
άνθρακας αναγεννάται με
κενό και οι ατμοί που
απορροφώνται επιστρέφουν
στην βενζίνη.

Absorbers - Απορροφητές

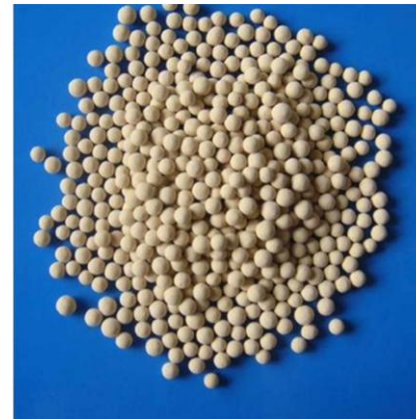


Είδη Προσροφητών

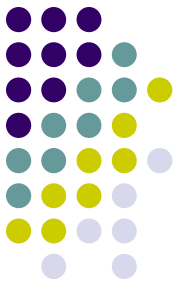


Διάφοροι τύποι προσροφητών είναι:

- ενεργός άνθρακας
- ενεργός αλούμινα
- υλικά από άλατα μαγνησίου
- silica gel
- μοριακά κόσκινα

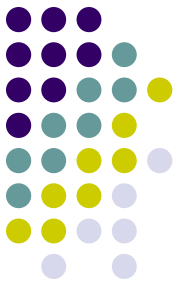


Προσρόφηση



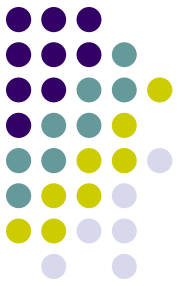
- Η προσρόφηση (adsorption) είναι μια επιφανειακή φυσικοχημική διεργασία, κατά την οποία μόρια ενός αερίου ή υγρού προσκολλώνται στην επιφάνεια ενός στερεού υλικού (του λεγόμενου προσροφητικού, adsorbent)
- Στην απορρόφηση το αέριο εισέρχεται μέσα στο υγρό, ενώ στην προσρόφηση “κολλάει” απ’ έξω στο στερεό
- Όταν ένα στερεό εκτίθεται σε ένα ρευστό (αέριο ή υγρό), μόρια από το ρευστό συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του στερεού λόγω:
 - Φυσικών δυνάμεων (Van der Waals, ηλεκτροστατικές) ή
 - Χημικών δεσμών (χημική προσρόφηση)

Προσρόφηση



- Οι προσροφητές είναι πορώδη, στερεά σωματίδια που χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μεγάλη ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα μάζας)
- Η μεγάλη ειδική επιφάνεια που διαθέτουν οφείλεται στη μεγάλη επιφάνειά τους εξαιτίας του υψηλού πορώδους τους
- Ειδικές επιφάνειες:
 - σωματιδίων ενεργού άνθρακα (500-2000 m²/gr)
 - μοριακών κοσκίνων (600-700 m²/gr)
 - silica gel (170 m²/gr)

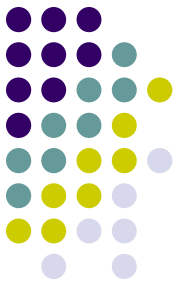
Προσρόφηση



Οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσρόφηση είναι:

- Η φύση του προσροφητικού υλικού (πορώδες, επιφάνεια, χημική σύσταση)
- Θερμοκρασία (η αύξηση θερμοκρασίας μειώνει τη φυσική προσρόφηση)
- Πίεση ή συγκέντρωση (η αύξηση πίεσης αυξάνει την ποσότητα προσροφημένου αερίου)
- Η φύση του προσροφώμενου αερίου ή διαλύτη (πολικότητα, μέγεθος μορίων, χημική δραστηριότητα)

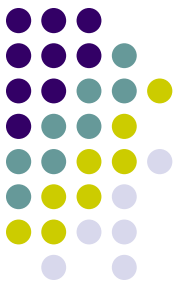
Προσρόφηση



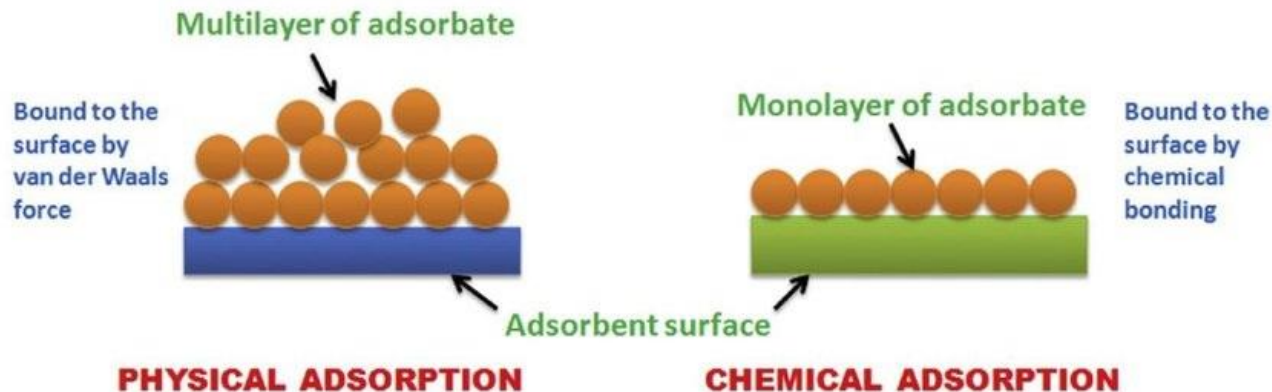
- Για την παρασκευή των μοριακών κοσκίνων χρησιμοποιούνται κυρίως ζεόλιθοι (φυσικοί και τεχνητοί)
- Υπάρχουν περίπου 40 φυσικοί ζεόλιθοι και περίπου 100 συνθετικοί



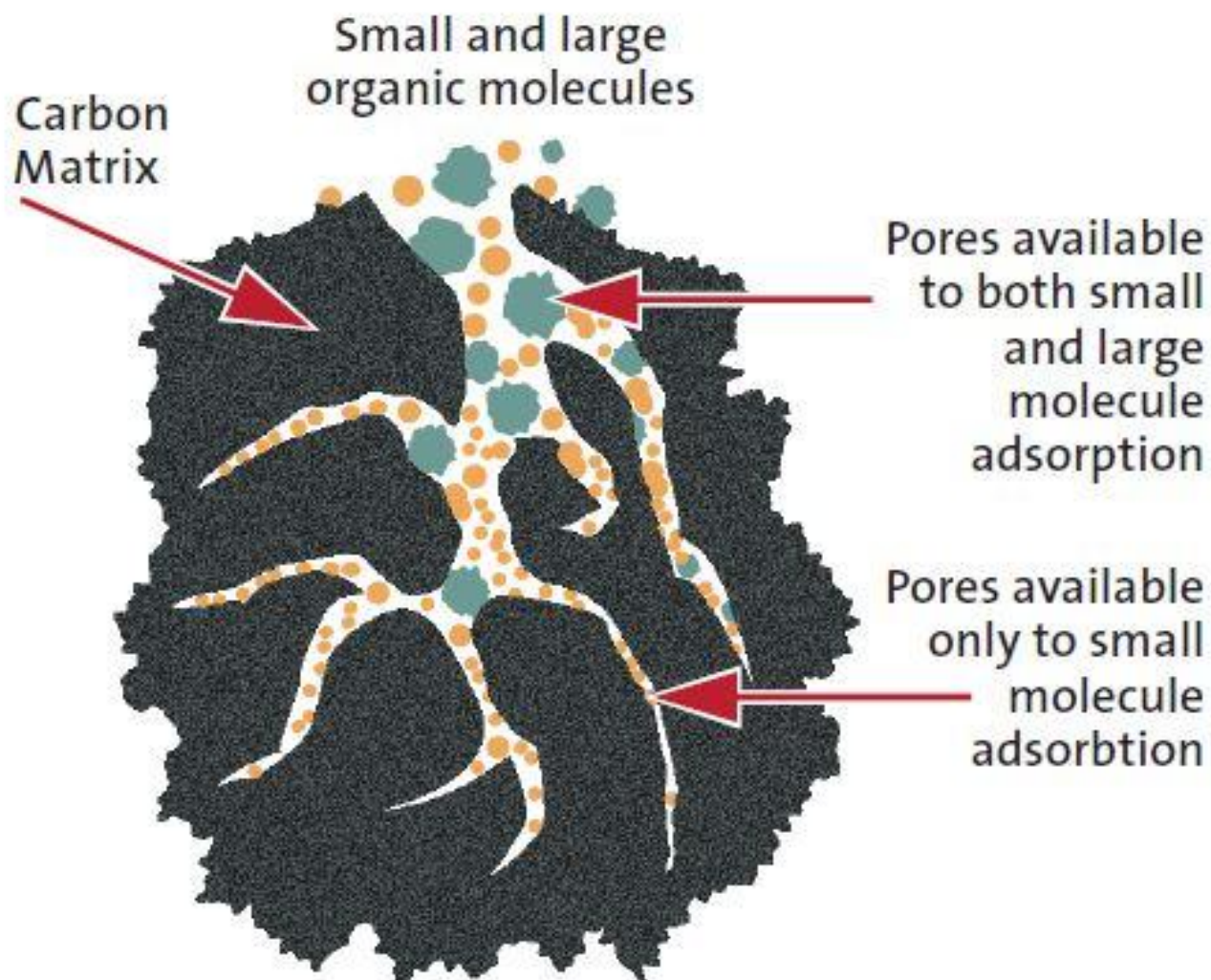
Προσρόφηση



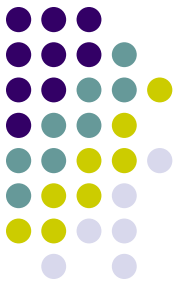
- Στη φυσική προσρόφηση, οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια του αερίου ρύπου στην επιφάνεια του προσροφητή είναι κυρίως δυνάμεις Van der Waals
- Στη χημική προσρόφηση, οι δυνάμεις που εμφανίζονται έχουν χημική προέλευση (ανταλλαγή ηλεκτρονίων μεταξύ των μορίων του στερεού (προσροφητή) και του αερίου ρύπου)
- Στη χημική προσρόφηση, είναι δυνατό τα προσροφούμενα μόρια να διασπώνται σε άτομα ή ρίζες



Προσρόφηση – Ενεργός Άνθρακας



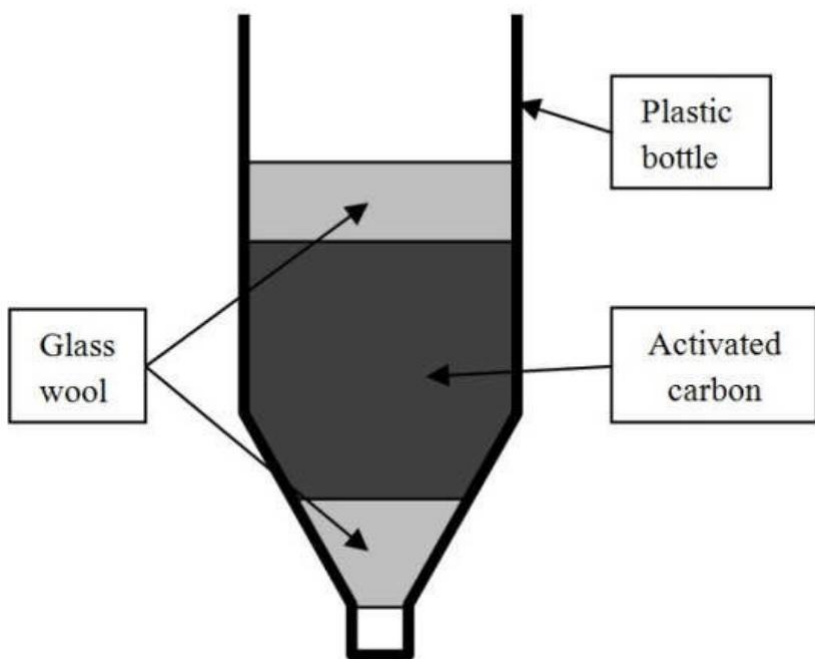
Εφαρμογές Προσρόφησης



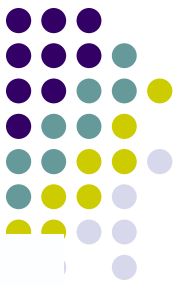
Η προσρόφηση έχει εφαρμογές κυρίως στη χημική βιομηχανία, αλλά όχι μόνο:

- καθαρισμό του πόσιμου νερού από διάφορα βλαβερά συστατικά
- απομάκρυνση οσμών από δύσοσμα απαέρια (απόσμηση)
- ελάττωση της συγκέντρωσης διαφόρων βλαβερών συστατικών του καπνού κατά το κάπνισμα
- δέσμευση πτητικών οργανικών ενώσεων

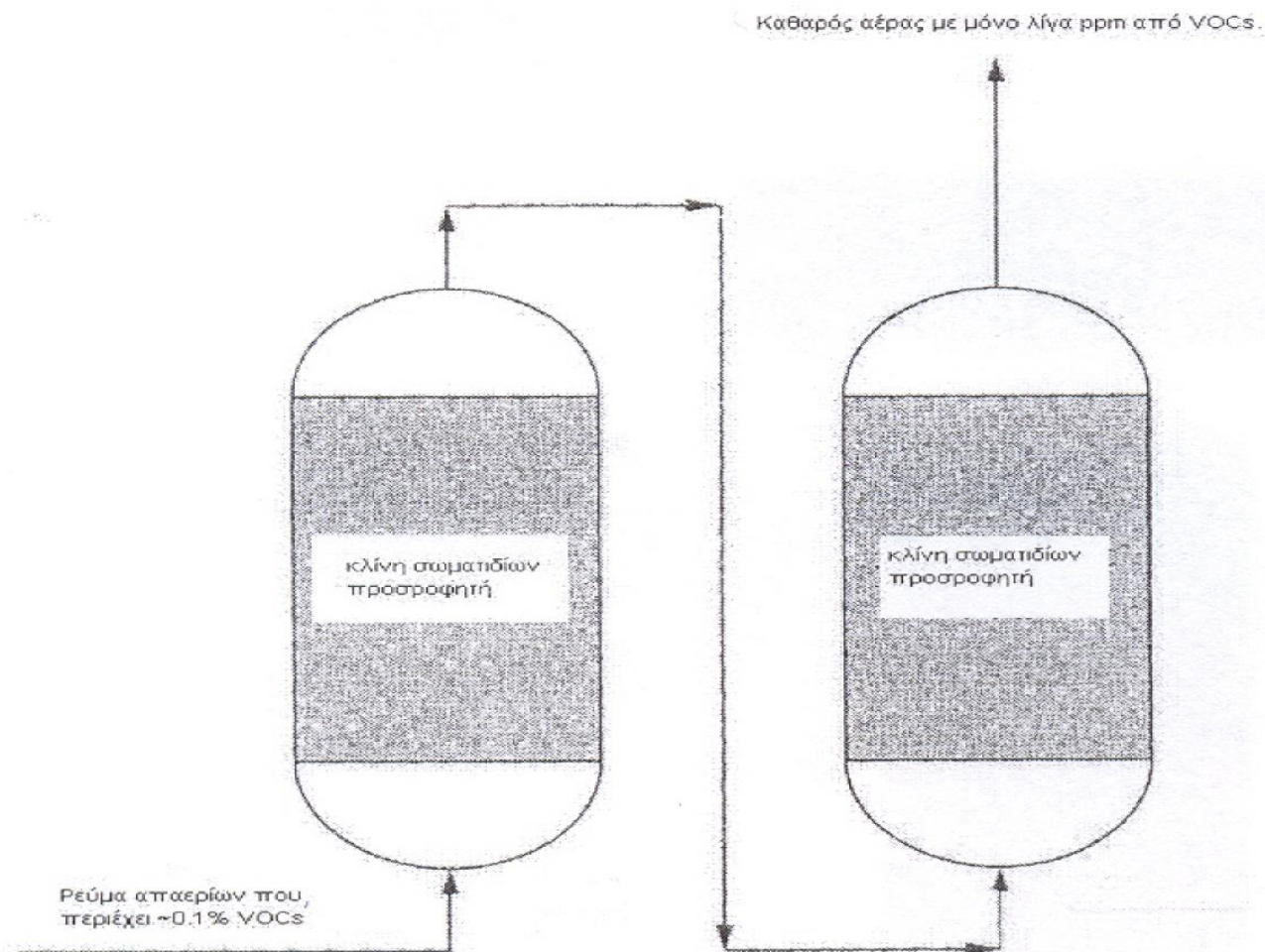
Προσρόφηση



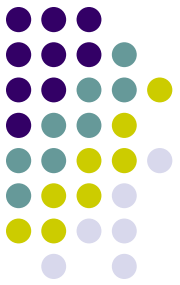
Προσρόφηση



Απομάκρυνση VOCs από απαέρια

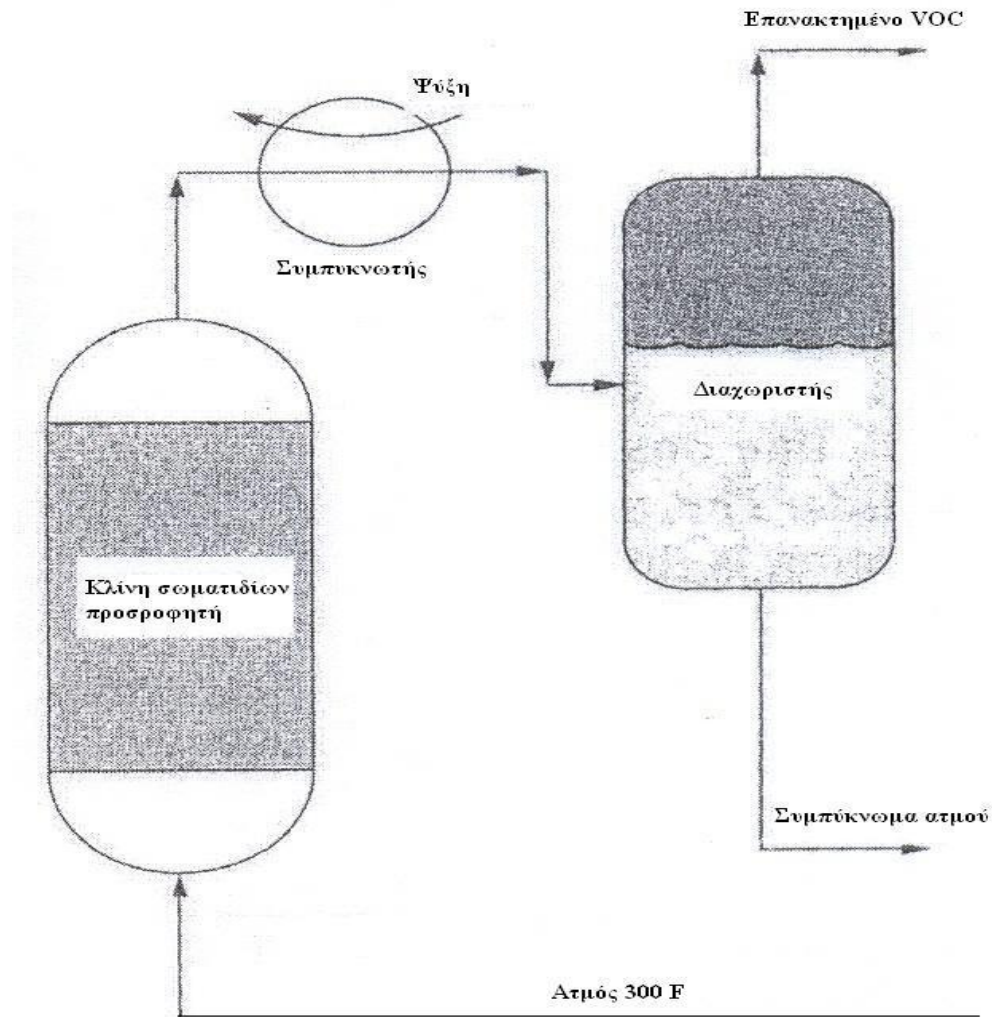
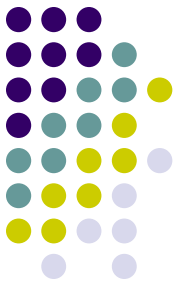


Απομάκρυνση VOCs από απαέρια

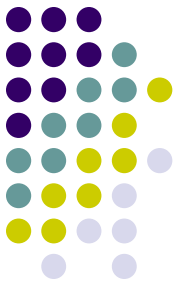


- Συνήθως χρησιμοποιείται ως προσροφητής ο ενεργός άνθρακας (ειδική επιφάνεια περίπου $1000 \text{ m}^2/\text{gr}$)
- Αρχικά τα απαέρια με την πτητική οργανική ένωση διοχετεύονται στη βάση της πρώτης στήλης προσρόφησης που βρίσκεται ο στερεός προσροφητής
- Από την κορυφή της πρώτης στήλης τα μερικώς καθαρισμένα απαέρια διοχετεύονται στη βάση της δεύτερης στήλης προσρόφησης για περαιτέρω καθαρισμό των απαιριών
- Από την κορυφή της δεύτερης στήλης τα απαέρια ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα με ελάχιστη περιεκτικότητα σε VOCs (λίγα ppm)

Αναγέννηση στήλης προσρόφησης

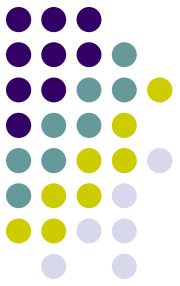


Αναγέννηση στήλης προσρόφησης



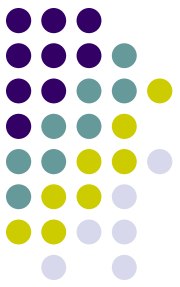
- Για την αναγέννηση διοχετεύονται στη βάση της στήλης υδρατμοί θερμοκρασίας περίπου 300F (150 °C)
- Από την κορυφή της στήλης εξέρχεται το μίγμα υδρατμών και VOCs το οποίο περνά μέσα από ένα συμπυκνωτή, όπου γίνεται συμπύκνωση του μίγματος
- Το υγρό μίγμα διοχετεύεται μέσα σε ένα διαχωριστή, όπου οι δύο υγρές φάσεις διαχωρίζονται λόγω διαφορετικής πυκνότητας
- Από το επάνω μέρος του δοχείου απομακρύνονται οι πτητικές οργανικές ενώσεις, ενώ από τη βάση το συμπύκνωμα υδρατμού

Πραγματική και Φαινόμενη ταχύτητα



- Η ποσότητα q/A αντιστοιχεί σε μια φαινόμενη ταχύτητα (superficial velocity, u_ϕ), η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα των αερίων μέσα στη στήλη προσρόφησης αν σε αυτήν δεν υπήρχε ο προσροφητής
 - Η πραγματική ταχύτητα των αερίων (u_π) μέσα στη στήλη είναι μεγαλύτερη από την u_ϕ και είναι ίση με:
- $$u_\pi = \frac{q}{A\varepsilon} = \frac{u_\phi}{\varepsilon}$$
- A : Διατομή στήλης
 - q : Παροχή
 - ε : Πορώδες προσροφητή

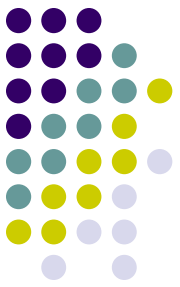
Άσκηση Προσρόφησης



Θέλουμε να επεξεργαστούμε 100.000 L/day αερίων που περιέχουν 0,1% πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της δοκιμαστικής μονάδας, με προσροφητή ενεργό άνθρακα, βρέθηκε πως η αποδεκτή απόδοση της στήλης επιτεύχθηκε για φαινόμενη ταχύτητα 0,003 m/sec και η προσροφητική ικανότητα της στήλης ήταν 0,3 kg VOCs ανά kg ενεργού άνθρακα. Η πυκνότητα των αερίων είναι 1.000 kg/m³, η πυκνότητα του ενεργού άνθρακα είναι 640 kg/m³ και η διάρκεια λειτουργίας της στήλης, πριν χρειαστεί αναγέννηση, είναι 48 hr. Να υπολογιστούν:

- α) Η διάμετρος της στήλης προσρόφησης
- β) Το ύψος της στήλης προσρόφησης

Λύση



α)

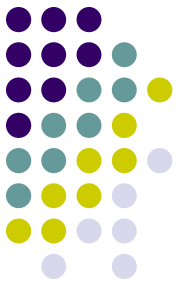
$$q = 100.000 \frac{L}{day} \frac{1 day}{86.400 sec} \frac{1 m^3}{1.000 L} = 0,00116 \frac{m^3}{sec} \Rightarrow q = 0,00116 \frac{m^3}{sec}$$

$$\frac{u_\varphi}{\varepsilon} = \frac{q}{A\varepsilon} \Rightarrow u_\varphi = \frac{q}{A} \Rightarrow A = \frac{q}{u_\varphi} = \frac{0,00116 \frac{m^3}{sec}}{0,003 \frac{m}{sec}} = 0,387 m^2 \Rightarrow A = 0,387 m^2$$

$$A = \pi R^2 \Rightarrow R^2 = \frac{A}{\pi} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,387}{3,14}} = 0,35 m \Rightarrow R = 0,35 m$$

$$D = 2 R = 2 * 0,35 = 0,7 m \Rightarrow D = 0,7 m$$

Λύση



β) Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της στήλης, θα παροχετευθούν X kg VOCs:

$$X = 48 \text{ hr} \frac{100.000 \text{ L}}{24 \text{ hr}} \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ L}} \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} 0,001 = 200 \text{ kg} \Rightarrow X = 200 \text{ kg VOCs}$$

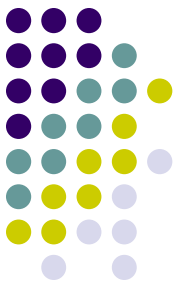
Η ποσότητα του ενεργού άνθρακα (Y) που θα χρειαστεί είναι:

$$Y = \frac{200 \text{ kg}}{0,3 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} 640 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,04 \text{ m}^3 \Rightarrow Y = 1,04 \text{ m}^3$$

Το ύψος της στήλης (L) θα είναι:

$$L = \frac{Y}{A} = \frac{1,04}{0,387} = 2,69 \text{ m} \Rightarrow L = 2,69 \text{ m}$$

Άσκηση Προσρόφησης



Θέλουμε να επεξεργαστούμε 150.000 L/day αερίων που περιέχουν 0,2% πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της δοκιμαστικής μονάδας, με προσροφητή ενεργό άνθρακα, βρέθηκε πως η αποδεκτή απόδοση της στήλης επιτεύχθηκε για φαινόμενη ταχύτητα 0,006 m/sec και η προσροφητική ικανότητα της στήλης ήταν 0,6 kg VOCs ανά kg ενεργού άνθρακα. Η πυκνότητα των αερίων είναι 1.000 kg/m³, η πυκνότητα του ενεργού άνθρακα είναι 640 kg/m³ και η διάρκεια λειτουργίας της στήλης, πριν χρειαστεί αναγέννηση, είναι 48 hr. Να υπολογιστούν:

- α) Η διάμετρος της στήλης προσρόφησης
- β) Το ύψος της στήλης προσρόφησης

Λύση

α)

$$q = 0,00174 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$A = 0,29 \text{ m}^2$$

$$R = 0,304 \text{ m}$$

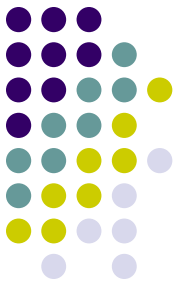
$$D = 0,61 \text{ m}$$

β)

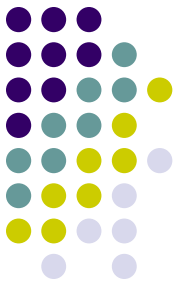
$$X = 600 \text{ kg VOCs}$$

$$Y = 1,563 \text{ m}^3$$

$$L = 5,39 \text{ m}$$

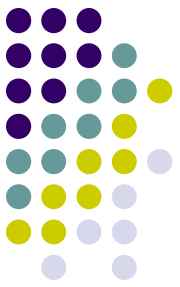


Συμπύκνωση



- Εύκολος τρόπος ελέγχου εκροών ατμών πτητικών ουσιών
- Γιατί συμπύκνωση πριν από άλλες τεχνικές;
 - Ανάκτηση οικονομικών προϊόντων
 - Απομάκρυνση διαβρωτικών συστατικών
 - Ελάττωση όγκου των αερίων εκροής
- Τρόποι επίτευξης:
 - Μείωση της θερμοκρασίας (συνηθέστερος)
 - Αύξηση της πίεσης

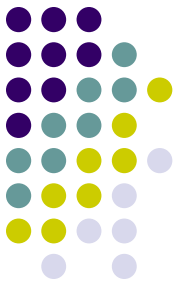
Χημική μετατροπή ρύπων σε μη ρυπογόνα υλικά



- Χρήση συσκευών
 1. Καυστήρες φλόγας (οξείδωση αερίων σε ένα θάλαμο ψεκασμού και σε θερμοκρασίες \geq της αυτογενούς ανάφλεξης)
 2. Καταλυτικά φίλτρα (οξείδωση αερίων σε θερμοκρασίες $<$ της αυτανάφλεξης)

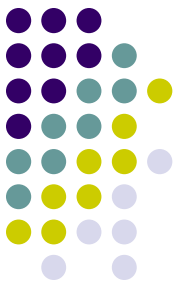
Σύστημα	Κόστος εγκατάστασης ($\$/\text{m}^3$)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας ($\$/\text{m}^3$)
Συμπυκνωτήρας	28.00	14.00
Απορροφητής	10.40	28.00
Εκπλυτής (για την κατακράτηση σωματιδίων)	9.80	14.00
Καυστήρας	8.20	8.40+καύσιμο
Καταλυτικό φίλτρο	11.60	28.00+καύσιμο

Ρύπανση από βιομηχανικές διεργασίες και αντιμετώπισή της



- Έλεγχος των εκπομπών πριν την εμφάνισή τους (προ-δραστική αντιμετώπιση – pro-active confrontation)
- Μέθοδοι προσέγγισης:
 - Μετατροπή της διεργασίας σε λιγότερο ρυπαντική
 - Χρήση λιγότερο ρυπογόνου καυσίμου
 - Εγκατάσταση εξοπλισμού ελέγχου

Ρύπανση από βιομηχανίες παραγωγής θερμότητας, ηλεκτρισμού, και διεργασίες αποτέφρωσης



Πίνακας. Πιθανές επιλογές για τον έλεγχο του SO₂.

Μέθοδος	Παρατηρήσεις
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (ξηρό)	Ψημένος (ασβεστοποιημένος) ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x . Απομάκρυνση με ξηρό σύστημα ελέγχου σωματιδίων
Με ασβεστόλιθο ή άσβεστο (υγρό)	Ο ψημένος ασβεστόλιθος αντιδρά με SO _x που απομακρύνονται εν συνέχεια με υγρούς εκπλυτές
Με ανθρακικό νάτριο	Το ανθρακικό νάτριο αντιδρά με SO _x σε ξηρό σύστημα προς σουλφίδιο του νατρίου (Na ₂ S) και CO ₂ . Το Na ₂ S απομακρύνεται με σακόφιλτρα.
Επεξεργασία με κιτρικά	Κιτρικό προστίθεται σε εκπλυτή νερού για να ενισχύσει την διάλυση του SO ₂ στο νερό. Στην συνέχεια απομακρύνεται S από το διάλυμα του κιτρικού.
Προσρόφηση από CuO	Τα οξειδία του θείου αντιδρούν με CuO προς Cu ₂ S. Μετά γίνεται απομάκρυνση με φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων Cu ₂ S
Έκπλυση με καυστικά	Τα καυστικά εξουδετερώνουν τα SO _x . Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μικρές διεργασίες

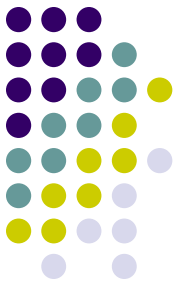
Ρύπανση από βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων οξέων



Πίνακας. Εκπομπές και έλεγχος ρύπων από παραγωγή ανόργανων οξέων.

Οξύ	Διεργασία παραγωγής	Εκπομπές ρύπων	Μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται
Υδροχλώριο	Ως παραπροϊόν της χλωρίωσης οργανικών, Από αλάτι, Συνθετικό HCl	HCl	Απορρόφηση
Υδροφθόριο	$CaF_2 + H_2SO_4$	SiF_4 , HF	Έκπλυση με καυστικά
Νιτρικό	Από καταλυτική οξείδωση της NH_3	NO, NO_2 , N_2O_4	Καταλυτικά φίλτρα, προσρόφηση, απορρόφηση
Φωσφορικό	Από στοιχειακό φώσφορο	Σωματιδιακή ύλη, Ενώσεις φθορίου	σακόφιλτρα
	Θερμική διεργασία	H_3PO_4 , H_2S	Έκπλυση με αλκαλικά
	Υγρή διεργασία	SiF_4 , HF	Έκπλυση
	Υπερφωσφορικά	Ενώσεις φθορίου	Έκπλυση
Θειικό	Με την μέθοδο <i>Επαφής</i>	SO_2 , όξινη ομίχλη	Ηλεκτροστατικά φίλτρα

Ρύπανση από βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων βάσεων



Πίνακας. Εκπομπές και έλεγχος ρύπων από παραγωγή ανόργανων βάσεων.

Βάση	Διεργασία παραγωγής	Εκπομπές ρύπων	Μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται
CaO	Περιστρεφόμενοι ξηραντήρες, Κάθετοι, αξονικοί ξηραντήρες, Φούρνοι ρευστοστερεάς κλίνης	Σωματιδιακή ύλη	Κυκλώνες,σακόφιλτρα, ESPs, εκπλυτές, κτλ
Na ₂ CO ₃	Μέθοδος Solvay	Σωματιδιακή ύλη	Έκπλυση
NaOH	Ηλεκτρολυτικά	Χλωριούχος υδράργυρος	Έκπλυση με αλκαλικά, Καταλυτικά φίλτρα, προσρόφηση

Ρύπανση από βιομηχανίες παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων



Πίνακας. Εκπομπές και έλεγχος ρύπων από παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων.

Διεργασία	Εκπομπές ρύπων	Μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται
Υπερφωσφορικά	SiF ₄ , HF	κυκλώνες
	Σωματιδιακή ύλη	έκπλυση ή σακόφιλτρα
Διαμμωνιακά φωσφορικά	F ₂ , NH ₃	κυκλώνες με 30% φωσφορικό οξύ
	σωματιδιακή ύλη	κυκλώνας ακολουθούμενος από φίλτρα
Τριπλά υπερφωσφορικά	SiF ₄ , HF	κυκλώνες
Τριπλά υπερφωσφορικά κοκκώδη	SiF ₄ , HF, σωματιδιακή ύλη	πολλαπλά φίλτρα

Ρύπανση από πετροχημικές διεργασίες



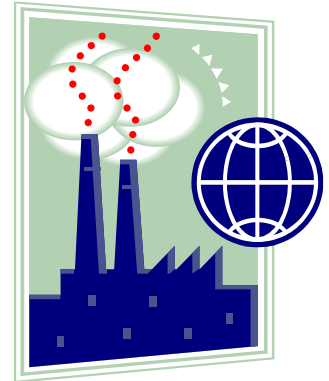
Πίνακας. Εκπομπές και έλεγχος ρύπων από πετροχημικές διεργασίες.

Πετροχημική διεργασία	Εκπομπές ρύπων	Μέθοδοι ελέγχου
Αιθυλενοξειδίου	Αιθάνιο, αιθυλένιο, αιθυλενοξειδίο	Καταλυτικό φίλτρο (μετατροπέας)
Φορμαλδεύδης	Φορμαλδεύδη, μεθανόλη, CO, διμεθυλαιθέρας	Έκπλυση για φορμαλδεύδη και μεθανόλη, καυστήρας για αέρια εξόδου
Φθαλικού ανυδρίτη	Οργανικά οξέα και ανυδρίτες, SO ₂ , CO, σωματιδιακή ύλη	Κυκλώνες και συμπιεσμένα φίλτρα
Ακρυλονιτριλίου	CO, προπυλένιο, προπάνιο, υδροκυάνιο, ακρυλονιτρίλιο, ακετονιτρίλιο, NO _x	Καυστήρες και καταλυτικά φίλτρα
Επεξεργασίας άνθρακα	H ₂ , CO, H ₂ S, SO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂	Καυστήρας (όχι έλεγχος SO ₂)
	Σωματιδιακή ύλη (άνθρακας)	Σακόφιλτρα
Διχλωρο-αιθυλενίου	CO, CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₂ Cl ₂ , αρωματικοί διαλύτες	Καυστήρας ακολουθούμενος από έκπλυση με καυστικά για το υδροχλωρικό οξύ που θα παραχθεί από την καύση

Μηχανική Περιβάλλοντος

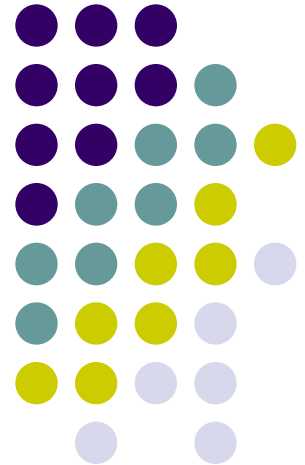
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

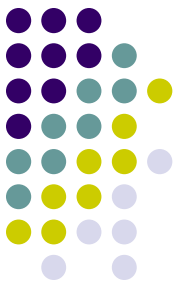


Ενότητα 2

Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων



Γενικά



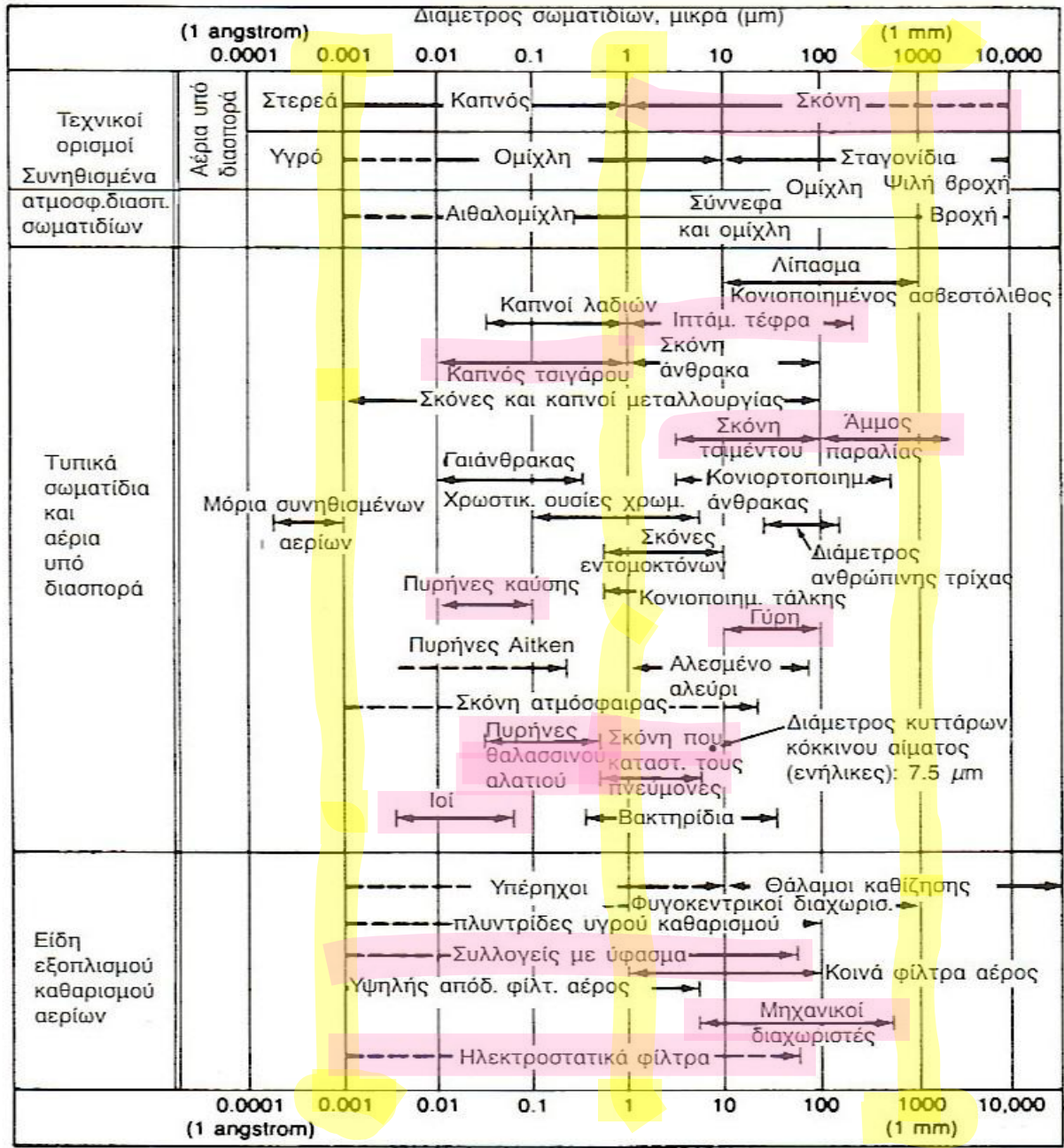
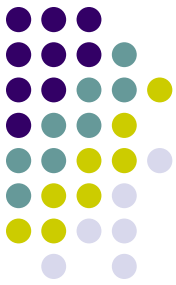
- **Σωματιδιακή ύλη**

Χημική σύσταση, κατανομή μεγέθους, σχήμα, ειδικό βάρος, πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ικανότητα διάβρωσης, τοξικότητα, υγροσκοπικότητα, κτλ.

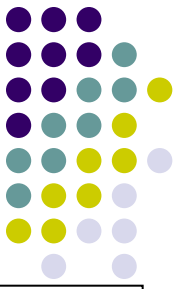
- **Αέριο ρεύμα**

Πίεση, θερμοκρασία, ιξώδες, υγρασία, χημική σύσταση, ευφλεκτότητα. Παροχή, φόρτιση σε σωματίδια, απαίτηση για την απόδοση απομάκρυνσης, επιτρεπόμενη πτώση πίεσης

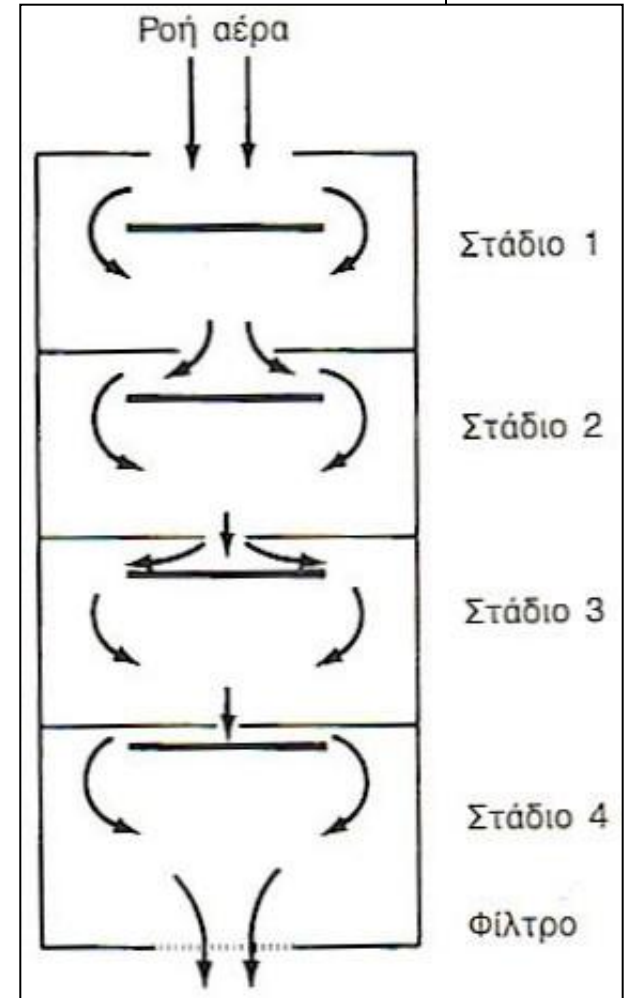
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων



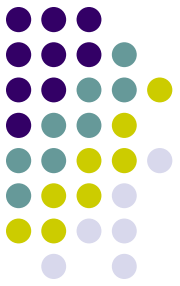
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων



- Αναγκαία η επαρκής πληροφόρηση για την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων σε ένα αέριο ρεύμα.
- Αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου = η διάμετρος μιας σφαίρας με μοναδιαία πυκνότητα η οποία καθιζάνει σε ακίνητο αέρα με τον ίδιο ρυθμό με το υπό εξέταση σωματίδιο.
- Προκρουστήρας με διαδοχικές επιφάνειες (συσκευή ταξινόμησης αιωρούμενων σωματιδίων παρόμοια με τα διαδοχικά κόσκινα στην κοκκομετρική ανάλυση). Διαδοχικά στενότερες εγκοπές και εγγύτερα τις επιφάνειες, έτσι ώστε κάθε διαδοχικό στάδιο να συλλαμβάνει όλο και μικρότερα σωματίδια.
- Προσδιορισμός μάζας από τα συλλεχθέντα σωματίδια.



Πρόβλημα



Μια σωματιδιακή διασπορά αποτελείται από 300 σφαιρικά σωματίδια: 100 σωματίδια του 1 μm , 100 σωματίδια των 10 μm , 100 σωματίδια των 100 μm .

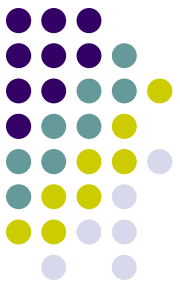
Μια συσκευή έχει 10% απόδοση στα σωματίδια του 1 μm , 50% απόδοση στα σωματίδια των 10 μm , και 99% απόδοση στα σωματίδια των 100 μm .

Όλα τα σωματίδια έχουν την ίδια πυκνότητα και τα σωματίδια του 1 μm έχουν μοναδιαία μάζα.

Υπολογίστε τον αριθμητικό βαθμό απόδοσης και την απόδοση συλλογής μάζας.

- * Η μάζα ενός σφαιρικού σωματιδίου είναι ανάλογη του όγκου του, δηλαδή του κύβου της διαμέτρου.

Λύση

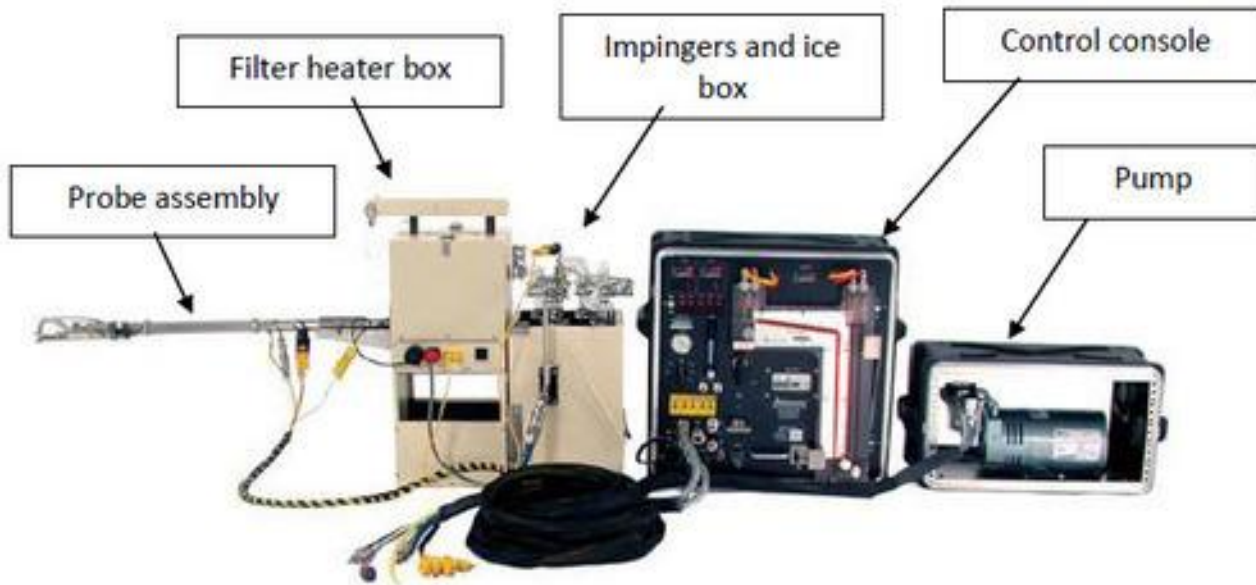
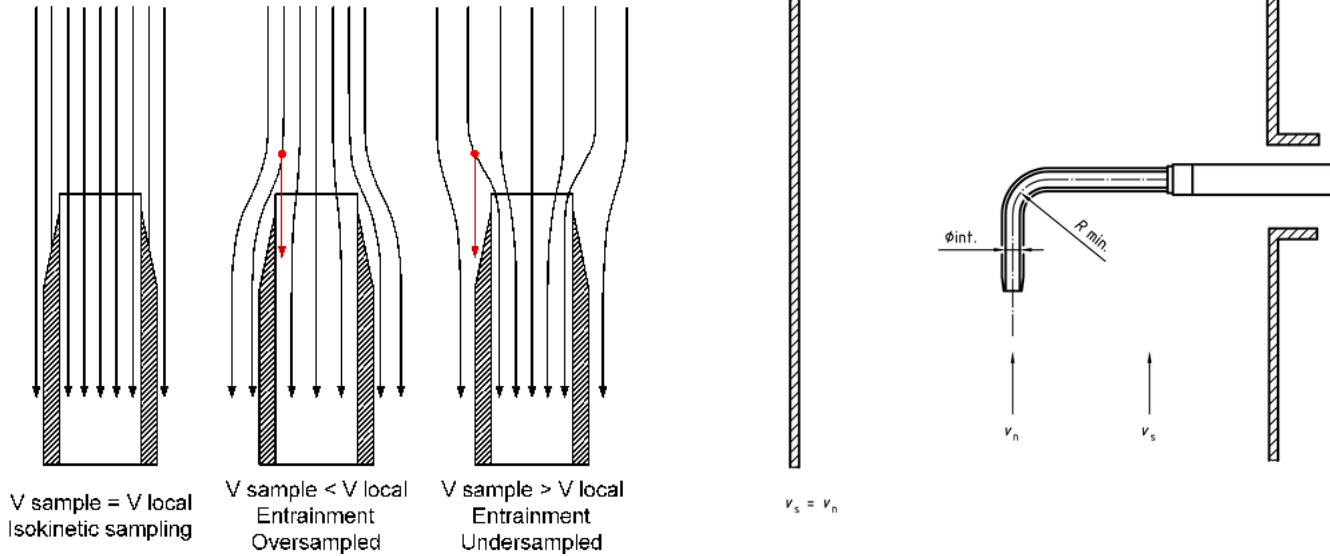
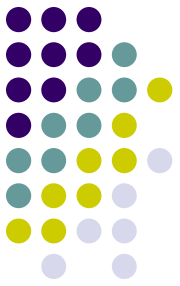


d	n	$m_{\text{ενός}}$	$m_{\text{συνολική}}$	Σωματίδια που συλλέγονται	Μάζα	Σωματίδια που περνούν	Μάζα που περνά
1	100	1	100	10	10	90	90
10	100	1.000	100.000	50	50.000	50	50.000
100	100	1.000.000	100.000.000	99	99.000.000	1	1.000.000
Σύνολο	300		100.100.100	159 (53%)	99.050.010 (> 99%)	141 (47%)	1.050.090 (< 1%)

Μονάδα μάζας: Για $d = 1 \mu\text{m}$ -> $m = 1$ μονάδα, Για $d = 10 \mu\text{m}$ -> $m = 10^3$

Για $d = 100 \mu\text{m}$ -> $m = 100^3$

Ισοκινητική Δειγματοληψία



Γενικά



- **Σωματιδιακή ύλη**

Χημική σύσταση, κατανομή μεγέθους, σχήμα, ειδικό βάρος, πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ικανότητα διάβρωσης, τοξικότητα, υγροσκοπικότητα, κτλ.

- **Εμπορικά διαθέσιμοι τύποι εξοπλισμού (απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων):**

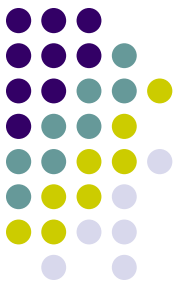
1. Μηχανικοί συλλέκτες
2. Εκπλυτές ή υγροί συλλέκτες ή υγρά φίλτρα
3. Υφασμάτινα φίλτρα ή σακκόφίλτρα
4. Ηλεκτροστατικοί συλλέκτες ή ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESPs)

Μηχανικοί συλλέκτες

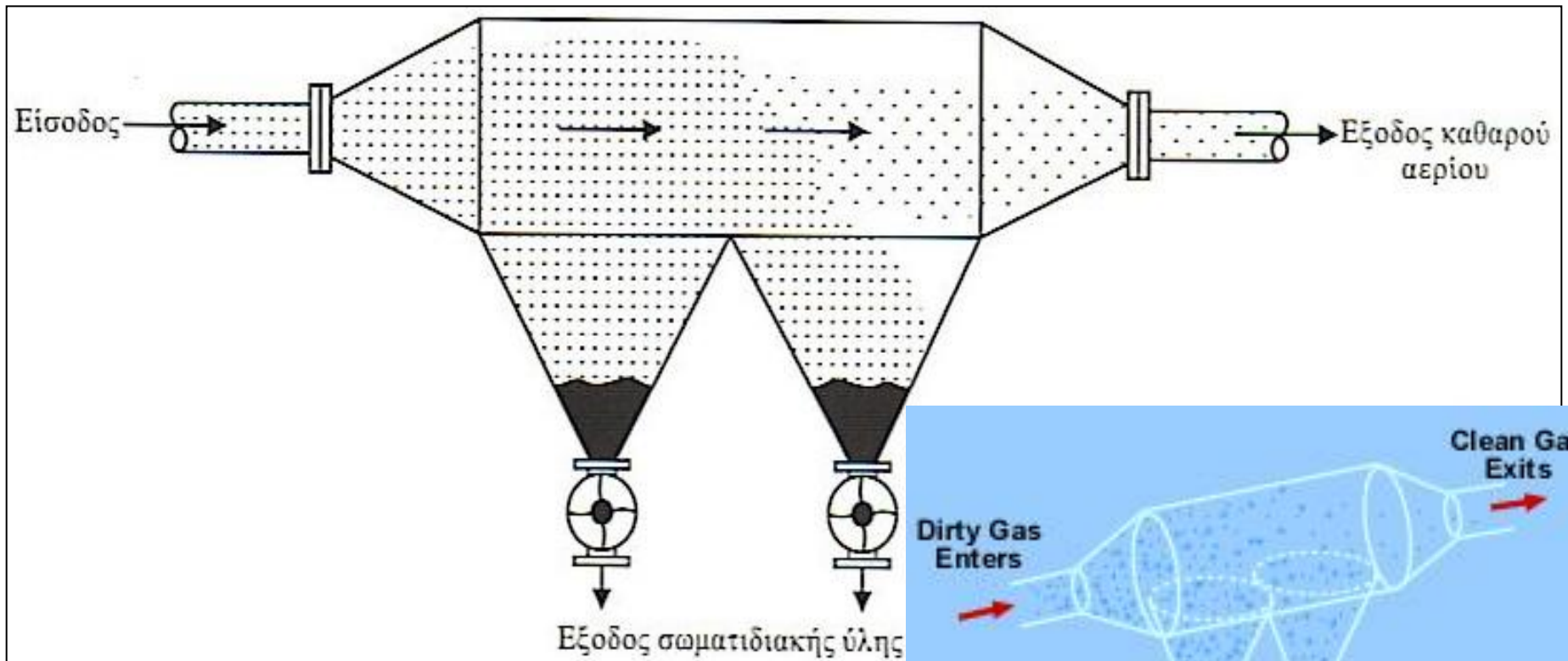


- **Ειδικό βάρος σωματιδιακής ύλης 1.000 – 2.000 μεγαλύτερο του ειδικού βάρους του αερίου που την εμπεριέχει**
- **Τύποι μηχανικών συλλεκτών:**
 - Βαρυτικοί συλλέκτες (Gravity settling chambers)
 - Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία (Recirculating baffle collector)
 - Κυκλώνες υψηλής απόδοσης (High efficiency cyclones)

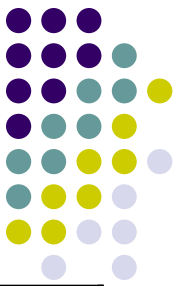
Βαρυτικοί συλλέκτες



- Υποβιβασμός της ταχύτητας του αέριου ρεύματος
- Καθίζηση σωματιδίων υπό την επίδραση της βαρύτητας
- Ταχύτητες καθίζησης 20-200 m/min (1,2-12 Km/hr)

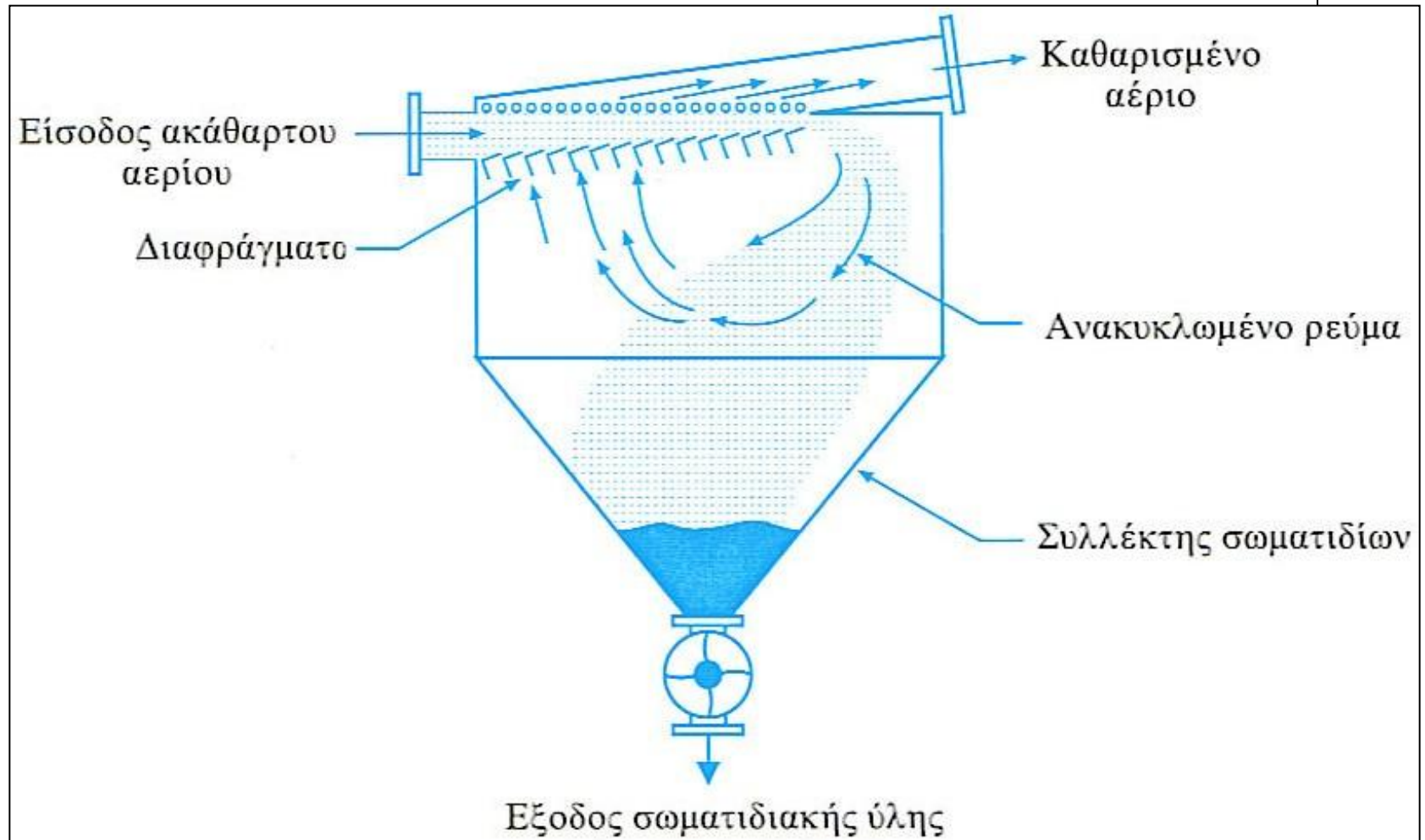
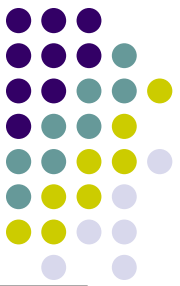


Βαρυτικοί συλλέκτες

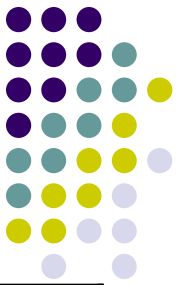


Βασικά Χαρακτηριστικά	
Μέγεθος	Πολύ μεγάλο
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Πολύ χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Πολύ χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Αυξάνει
Απόδοση σε υψηλά φορτία	Μειώνεται
Μειονέκτημα	Χαμηλή απόδοση σε μικρή κοκκομετρία

Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία

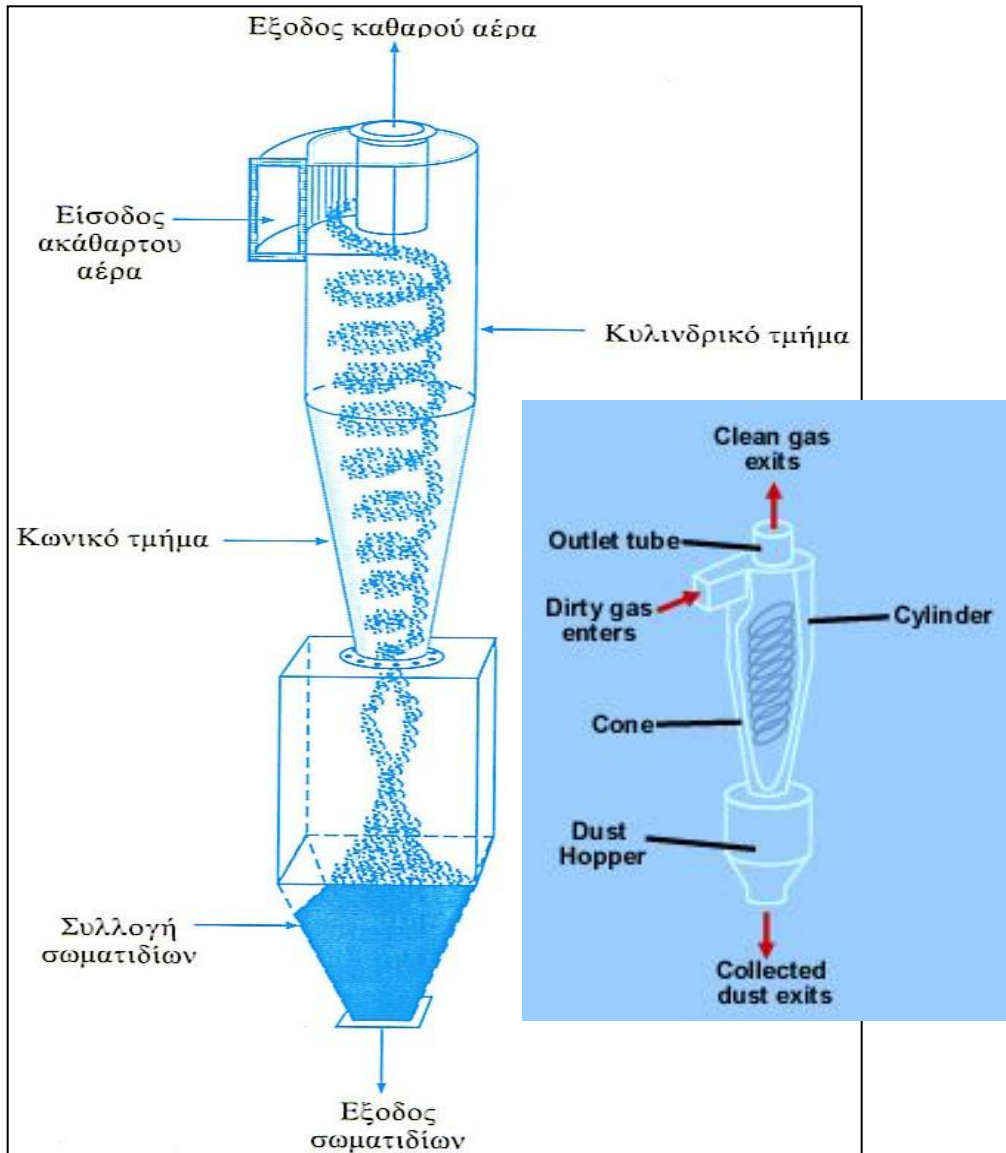
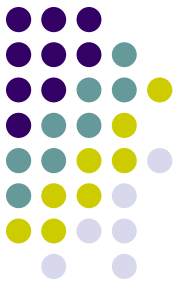


Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία



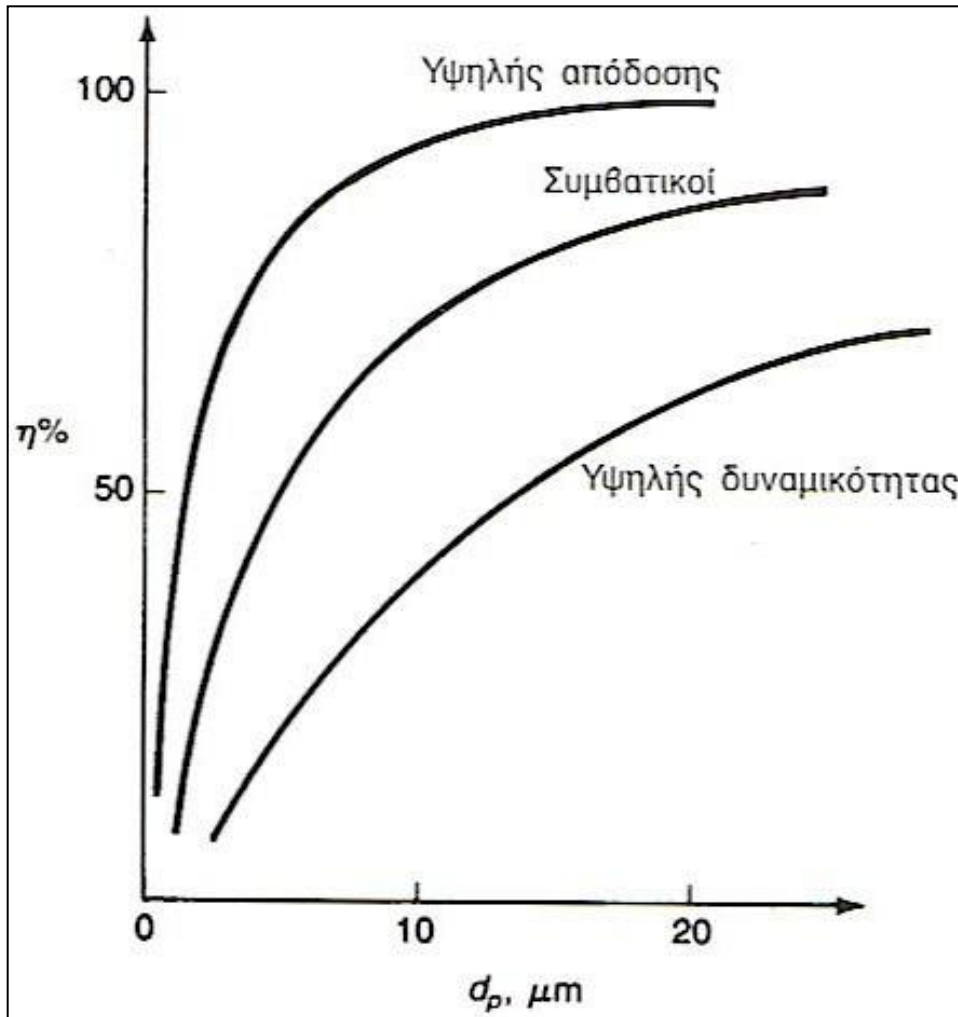
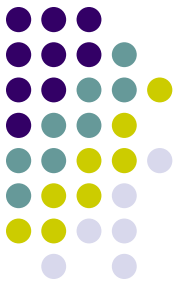
Βασικά Χαρακτηριστικά	
Μέγεθος	Μικρό
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Μειώνεται
Απόδοση σε υψηλά φορτία	Αυξάνεται ελάχιστα
Μειονέκτημα	Αν και είναι υψηλότερης απόδοσης από το βαρυτικό συλλέκτη, έχει επίσης χαμηλή απόδοση σε μικρή κοκκομετρία

Κυκλώνες



- Μετασχηματισμός της ταχύτητας του ρεύματος εισόδου σε :
 - Μια κατερχόμενη εξωτερική δίνη (κατακράτηση βαρύτερων σωματιδίων με την ανάπτυξη φυγόκεντρου)
 - Μια ανερχόμενη εσωτερική δίνη (καθαρισμένο αέριο ρεύμα)
- Χαρακτηριστικά:
 - Απλότητα
 - Αξιοπιστία
 - Υψηλή απόδοση

Κυκλώνες



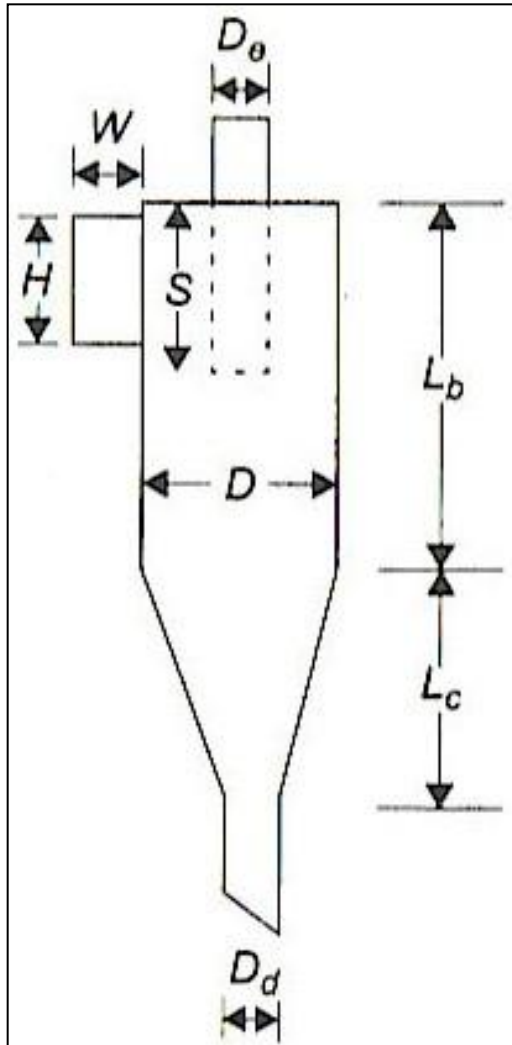
- **Πλεονεκτήματα:**

- Μικρό κόστος κεφαλαίου
- Δυνατότητα λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες
- Χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης (απουσία κινούμενων μερών)

- **Μειονεκτήματα:**

- Έντονη μείωση της απόδοσης κάτω από κάποιο μέγεθος σωματιδίων
- Υψηλό κόστος λειτουργίας (λόγω της πτώσης πίεσης, 100-150 mm H_2O σε ταχύτητες εισόδου 55-80 km/hr) που αυξάνεται όσο αυξάνεται και η απόδοση του συστήματος λόγω της υψηλότερης πτώσης πίεσης

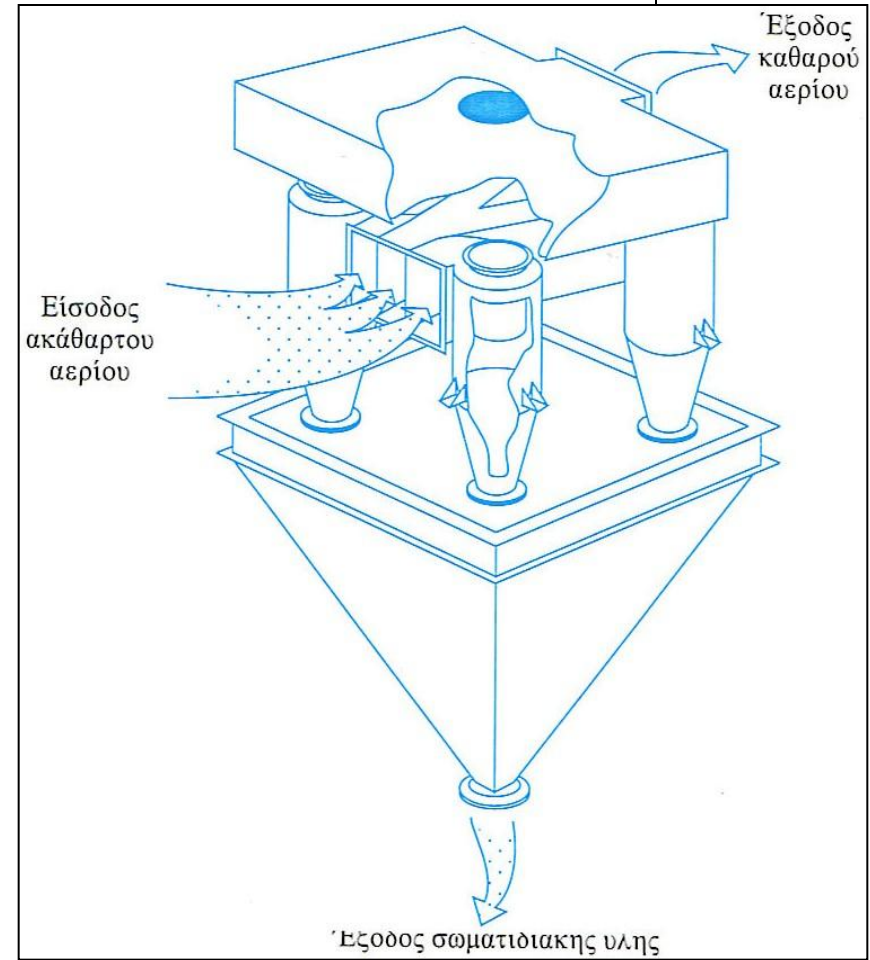
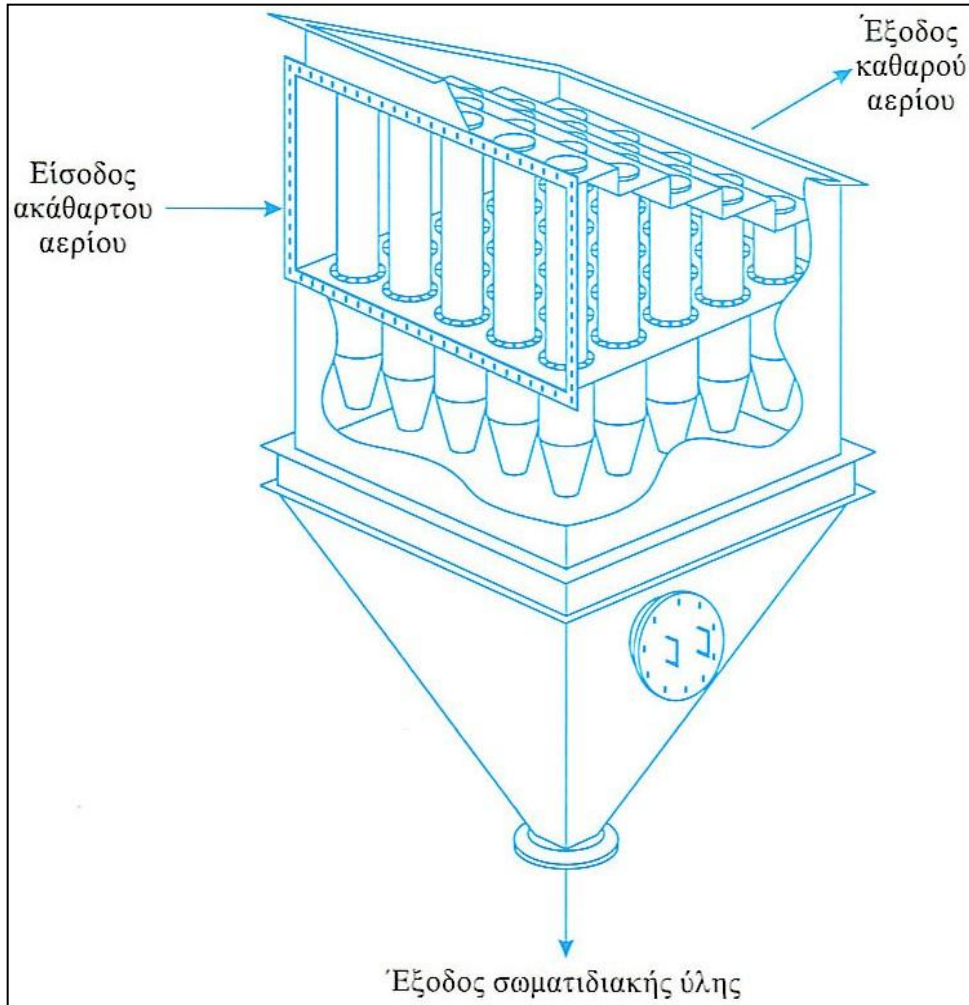
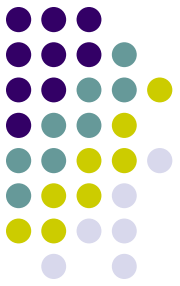
Κυκλώνες



Πίνακας Διαστάσεις Τυπικού Κυκλώνα

	Τύπος Κυκλώνα					
	Υψηλής Απόδοσης		Συμβατικός		Υψηλής Δυναμικότητας	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Διάμετρος Σώματος D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Υψος Στομίου Εισόδου H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Πλάτος Στομίου Εισόδου W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Διάμετρος Εξόδου Αερίου D_{θ}/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Μήκος Ανιχνευτή Δίνης S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Μήκος Σώματος L_b/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Μήκος Κώνου L_c/D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Διάμ. Εξόδου Σωματιδίων D_d/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4

Συστήματα κυκλώνων



Συστήματα κυκλώνων

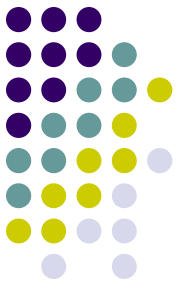


Εφαρμογή κυκλώνα



Κυκλώνας για
αρχικό καθαρισμό
αέριου ρεύματος
σε ένα βιομηχανικό
συγκρότημα

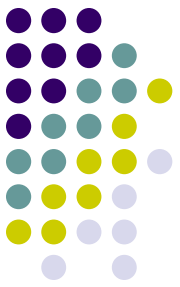
Καύση αερίων



- Η καύση αποτελεί χημική αντίδραση οξείδωσης καυσίμων ουσιών που οδηγεί στην παραγωγή θερμότητας, φωτός και αέριων προϊόντων
- Θερμοδυναμική της καύσης: Η απόδοση και η καθαρότητα της καύσης επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, τη στοιχειομετρία μίγματος και τον βαθμό ανάμιξης καυσίμου–οξειδωτικού
- Παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές: Η ποιότητα του καυσίμου, η θερμοκρασία φλόγας, ο χρόνος παραμονής και ο σχεδιασμός του καυστήρα καθορίζουν την ποσότητα και το είδος των παραγόμενων ρύπων
- Επιρροή κλιματικών συνθηκών: Η θερμοκρασιακή αναστροφή, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζουν τη διασπορά και συγκέντρωση των εκπομπών από καύση

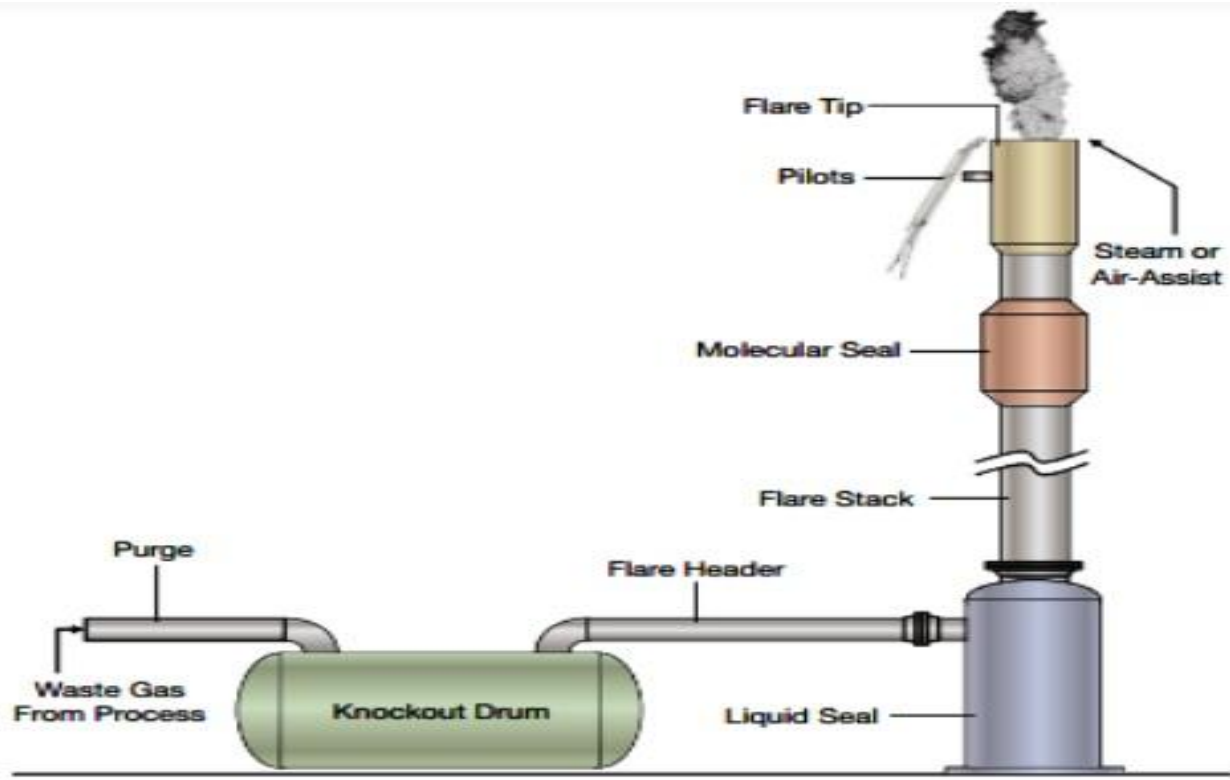
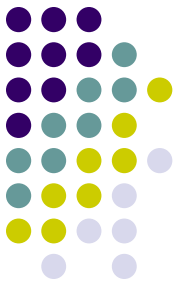


Καύση αερίων

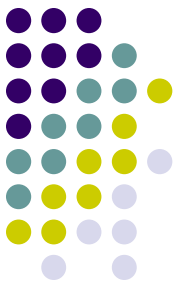


- Κατά την καύση στην αντιρρυπαντική τεχνολογία επιδιώκεται η μετατροπή μιας επικίνδυνης ουσίας σε μια άλλη λιγότερο επικίνδυνη (ή ακόμη και ακίνδυνη)
- Ως καύση (θερμική οξείδωση) χαρακτηρίζεται η οξείδωση μιας ουσίας σε υψηλή θερμοκρασία
- Για να πραγματοποιηθεί η καύση μιας ουσίας πρέπει να συνυπάρχει το οξειδωτικό μέσο (π.χ. το οξυγόνο) με την ουσία, η αντίδραση της καύσης είναι εξώθερμη
- Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, κατά την καύση, εκτός των άλλων προϊόντων, παράγονται CO_2 και H_2O
- Η καύση αέριων ρύπων χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως αντιρρυπαντική τεχνολογία σε διάφορες χημικές βιομηχανίες (π.χ. βιομηχανίες χρωμάτων, φαρμοκοβιομηχανίες, μονάδες επεξεργασίας καυσίμων)

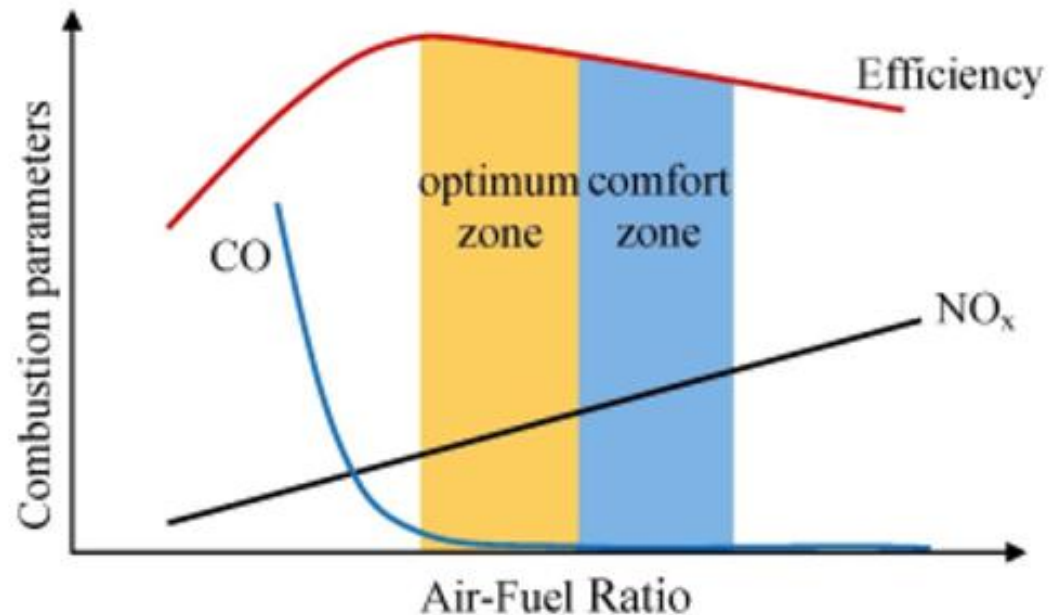
Καύση αερίων



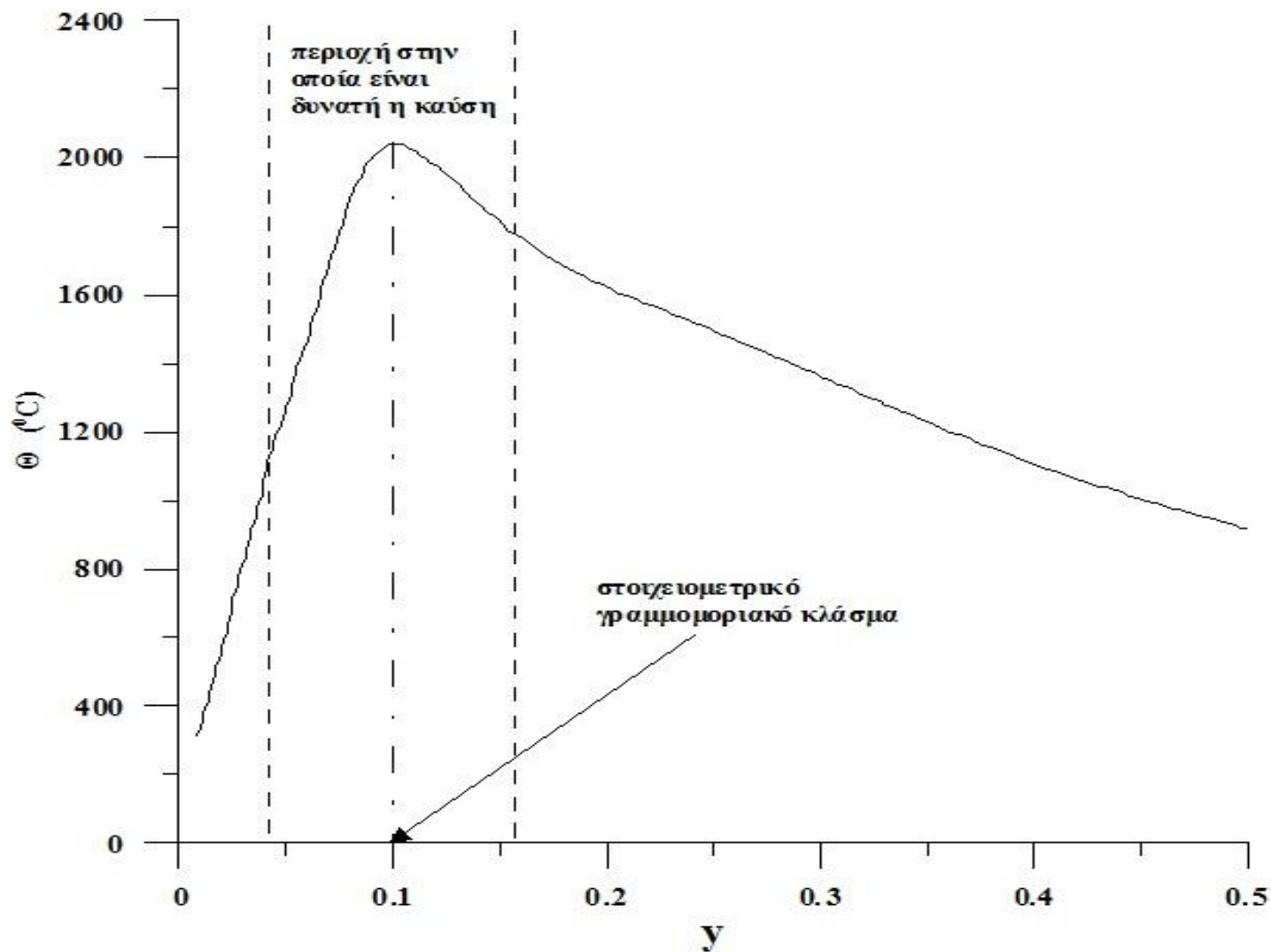
Καύση αερίων



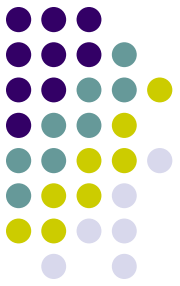
- Για να πραγματοποιηθεί η καύση θα πρέπει οι συγκεντρώσεις του καυσίμου και του οξυγόνου να έχουν τιμές σε μια ορισμένη περιοχή
- Αν το μίγμα καυσίμου/οξυγόνου είναι πολύ πλούσιο ή πολύ φτωχό σε καύσιμο δεν πραγματοποιείται η καύση



Καύση αερίων



Κινητική καύσης αερίων

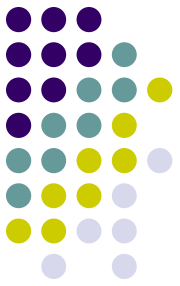


Βήματα καύσης αερίων:

- Ανάφλεξη (Ignition)
- Ανάπτυξη ριζών (Radical pool formation)
- Αλυσιδωτές αντιδράσεις
- Σταθεροποίηση φλόγας

Βήματα καύσης αερίων: Ανάφλεξη → δημιουργία δραστικών ριζών → αλυσιδωτές αντιδράσεις (έναρξη, προώθηση, διακλάδωση, τερματισμός) → σταθεροποίηση και εξέλιξη της φλόγας.

Κινητική καύσης αερίων



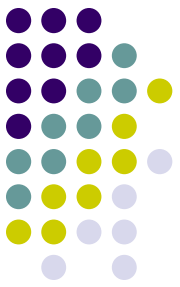
- Στην περίπτωση αντιδράσεων οξείδωσης στην αέρια φάση η εξάρτηση της k από τη θερμοκρασία δίνεται από την σχέση Arrhenius:

$$k = A e^{-E/RT}$$

όπου

- k → η κινητική σταθερά
- A → προεκθετική σταθερά (δίνεται από πίνακες)
- E → ενέργεια ενεργοποίησης [εξαρτάται από το είδος του ρύπου] (δίνεται από πίνακες)
- R → παγκόσμια σταθερά των αερίων [8,314 J/(K*mol)]
- T → θερμοκρασία

Κινητική καύσης αερίων



- Συνδυάζοντας δεδομένα από τη θεωρία συγκρούσεων των μορίων με πειραματικά δεδομένα, είναι δυνατό κανείς να φτάσει σε μια γενική μέθοδο πρόβλεψης της κινητικής σταθεράς k για καύση υδρογονανθράκων στην περιοχή θερμοκρασιών 940-1.140 K.
- Έτσι, η προεκθετική σταθερά A μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$A = \frac{Z' \Sigma y_{O_2} P}{R}$$

όπου:

- Z' → η παράμετρος ρυθμού συγκρούσεων
- Σ → η γεωμετρική παράμετρος του μορίου
- y_{O_2} → το γραμμομοριακό κλάσμα οξυγόνου στον καυστήρα
- P → η απόλυτη πίεση (atm)
- R → η σταθερά των ιδανικών αερίων [0,08205 (L atm)/(K mol)]

Κινητική καύσης αερίων



- Η γεωμετρική παράμετρος του μορίου (Σ) συνδέεται με το μοριακό βάρος (M) του μορίου του υδρογονάνθρακα με τη σχέση:
 - $\Sigma = 16/M$
- Η ενέργεια ενεργοποίησης (E , J/mol) και η παράμετρος ρυθμού συγκρούσεων (Z') σχετίζονται με το μοριακό βάρος (M) ως ακολούθως:
 - $E = 193.020 - 40,45 * M$
- Και για την Z' δίνονται τρεις διαφορετικές σχέσεις ανάλογα με τον τύπο του υδρογονάνθρακα:
 - $Z' = (0,5 + M/32) * 10^{11}$ (αλκάνια)
 - $Z' = (0,25 + 0,03 * M) * 10^{11}$ (αλκένια)
 - $Z' = (-0,60 + 0,0375 * M) * 10^{11}$ (αρωματικές ενώσεις)

Κινητική καύσης αερίων



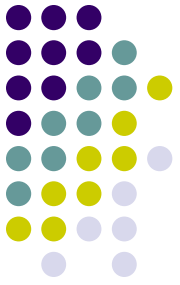
- Σε ισοθερμοκρασιακούς αντιδραστήρες εμβολικής ροής (Plug Flow Reactor - PFR) η απόδοση κατά την καύση των υδρογονανθράκων (η) δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = 1 - \frac{[HC]_{out}}{[HC]_{in}} = 1 - \exp(-k\tau)$$

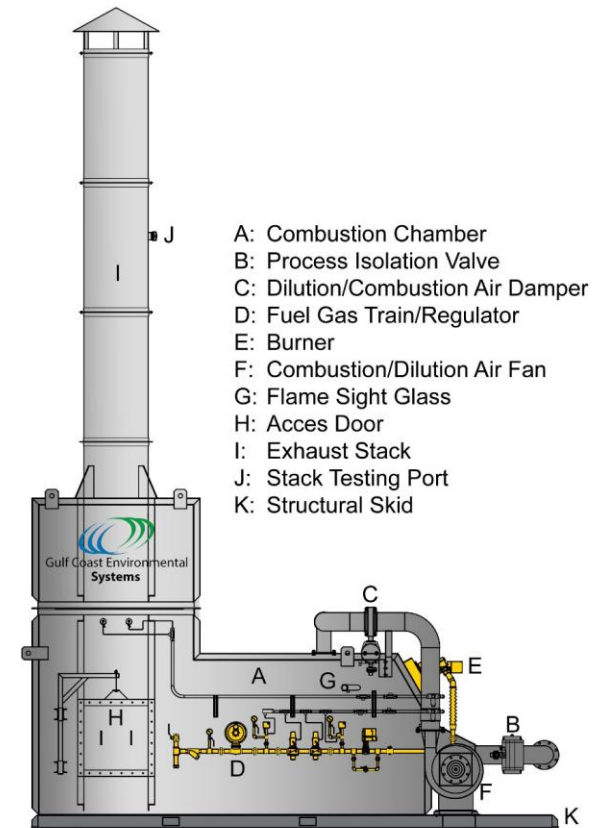
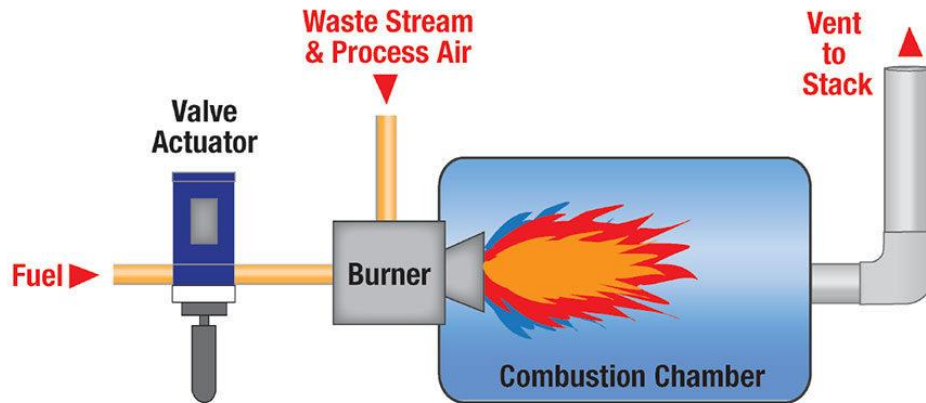
όπου:

- $[HC]_{in}$ \rightarrow η συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στην είσοδο του αντιδραστήρα
- $[HC]_{out}$ \rightarrow η συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στην έξοδο του αντιδραστήρα
- k \rightarrow η κινητική σταθερά
- τ \rightarrow ο χρόνος παραμονής

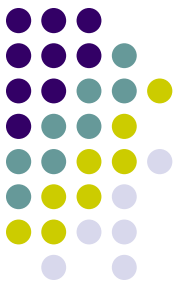
Καύση αερίων



Direct-Fired, Raw-Gas-Airflow Thermal Oxidizer Burner



Άσκηση Καύσης αερίων



Σε απαέρια περιέχεται τολουόλιο (αρωματική οργανική ένωση) σε συγκέντρωση 1.000 ppm. Να υπολογίσετε τη θερμοκρασία που απαιτείται σε ισοθερμοκρασιακό καυστήρα εμβολικής ροής με χρόνο παραμονής των αερίων 0,5 sec για την μέχρι 99,9% καύση του τολουολίου.

Δίνονται:

- το μοριακό βάρος του τολουολίου είναι 92
- το γραμμομοριακό κλάσμα του οξυγόνου στον καυστήρα είναι 0,074
- η πίεση θεωρείται ίση προς 1,013 atm
- η σταθερά των ιδανικών αερίων είναι ίση με 0,08205 (L atm)/(K mol)
- 1 J \rightarrow 0,0099 L atm

Λύση



$$\eta = 1 - \exp(-k\tau) \Rightarrow \exp(-k\tau) = 1 - \eta \Rightarrow -k\tau = \ln(1 - \eta) \Rightarrow k = -\frac{\ln(1 - \eta)}{\tau} \Rightarrow$$

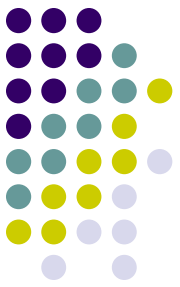
$$\Rightarrow k = -\frac{\ln(1 - 0,999)}{0,5} \Rightarrow k = -\frac{-6,908}{0,5} \Rightarrow k = 13,8 \Rightarrow \boxed{k = 13,8 \text{ sec}^{-1}}$$

$$\Sigma = \frac{16}{M} \Rightarrow \Sigma = \frac{16}{92} \Rightarrow \boxed{\Sigma = 0,174}$$

$$Z' = (-0,60 + 0,0375M) * 10^{11} \Rightarrow Z' = (-0,60 + 0,0375 * 92) * 10^{11} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Z' = 2,85 * 10^{11}}$$

Λύση



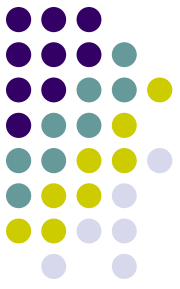
$$A = \frac{Z' \Sigma \gamma P}{R} \Rightarrow A = \frac{2,85 * 10^{11} * 0,174 * 0,074 * 1,013}{0,08205} \Rightarrow A = \frac{3,72 * 10^{-2} * 10^{11}}{8,205 * 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 4,53 * 10^{10} \text{sec}^{-1}$$

$$E = 193.020 - (40,45M) \Rightarrow E = 193.020 - (40,45 * 92) \Rightarrow E = 193.020 - 3.721,4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E \simeq 189.299 \text{ J/mol}$$

Λύση



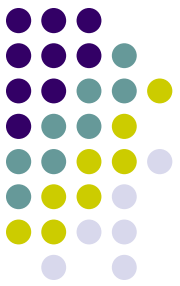
$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \Rightarrow \frac{k}{A} = \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \Rightarrow -\frac{E}{RT} = \ln\left(\frac{k}{A}\right) \Rightarrow T = -\frac{E}{R \ln\left(\frac{k}{A}\right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = -\frac{E}{R(\ln k - \ln A)} \Rightarrow T = -\frac{189.299}{0,08205(\ln(13,8) - \ln(4,53 * 10^{10}))} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = -\frac{189.299}{0,08205(2,625 - 24,537)} \Rightarrow T = -\frac{189.299}{-1,798} \Rightarrow T = 105.283 \frac{J * K * mol}{L * atm * mol} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = 105.283 * 0,0099 \frac{L * atm * K}{L * atm} \Rightarrow T = 1.042 K$$

Άσκηση Καύσης αερίων



Σε απαέρια περιέχεται προπάνιο (αλκάνιο) σε συγκέντρωση 600 ppm. Να υπολογίσετε τη θερμοκρασία που απαιτείται σε ισοθερμοκρασιακό καυστήρα εμβολικής ροής με χρόνο παραμονής των αερίων 0,5 sec για την μέχρι 99,9% καύση του προπανίου.

Δίνονται:

- το μοριακό βάρος του προπανίου είναι 44,096
- η σταθερά των ιδανικών αερίων είναι ίση με $0,08205 \text{ (Latm)/(Kmol)}$
- το γραμμομοριακό κλάσμα του οξυγόνου στον καυστήρα είναι 0,07
- η πίεση είναι ίση προς 1 atm
- $1 \text{ J} \rightarrow 0,0099 \text{ L atm}$

Λύση

$$k = 13,8 \text{ sec}^{-1}$$

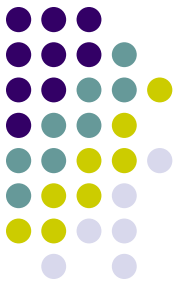
$$\Sigma = 0,363$$

$$Z' = 1,878 * 10^{11}$$

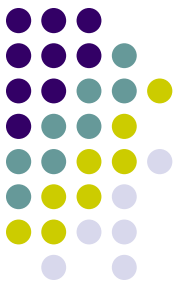
$$A = 5,82 * 10^{10}$$

$$E = 191.236,32 \text{ J/mol}$$

$$T = 1.041,36 \text{ K}$$

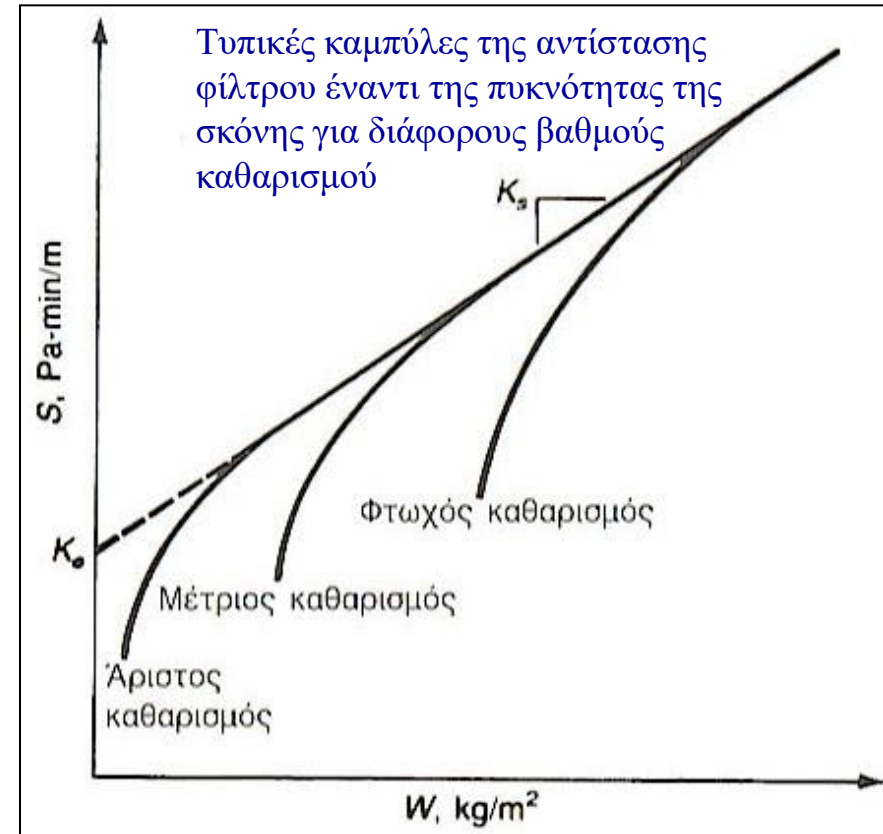
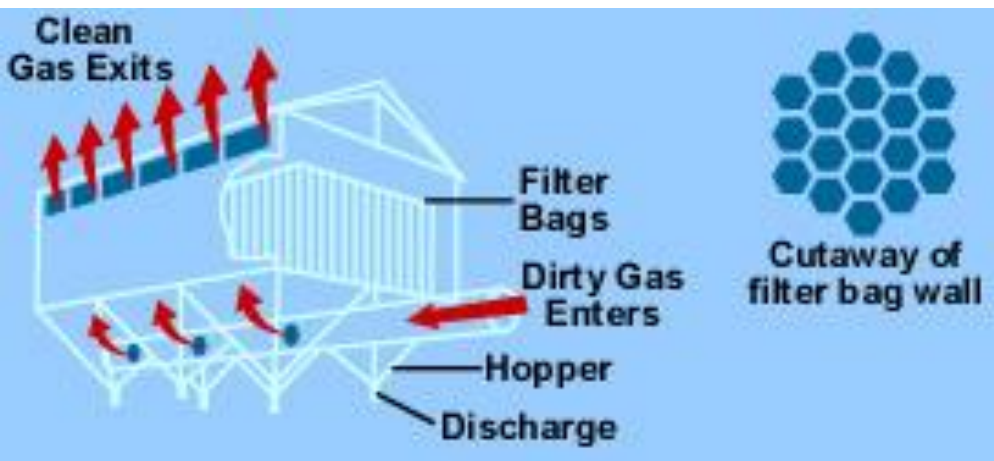
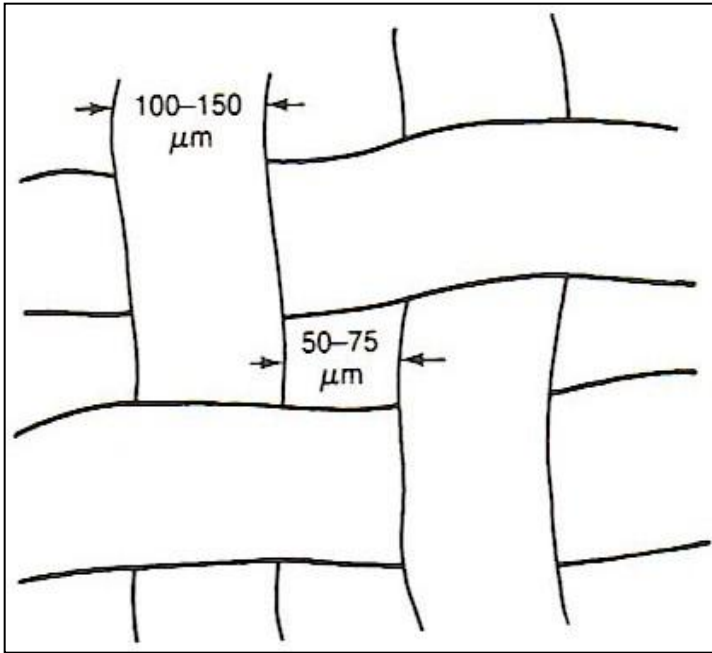


Σακκόφιλτρα

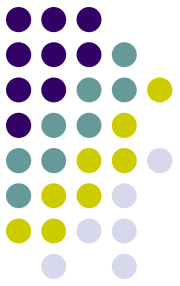


- Φιλτράρισμα με ύφασμα για το διαχωρισμό ξηρών σωματιδίων από ένα ρεύμα αερίου.
- Αρχικά το ύφασμα φιλτράρει τα σωματίδια, δημιουργείται στρώμα σκόνης (κρούστα) το οποίο και είναι υπεύθυνο για το υψηλής απόδοσης φιλτράρισμα των σακκοφίλτρων.
- Τύποι (με βάση τη μέθοδο αυτοκαθαρισμού από τη σκόνη):
 - Σακκόφιλτρα με μηχανική δόνηση (shaker)
 - Σακκόφιλτρα αντιθέτου ροής (reverse air)
 - Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα (pulse jet)
- Πλεονεκτήματα:
 - Υψηλές αποδόσεις συλλογής ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια
 - Λειτουργία για μεγάλο εύρος κοκκομετρίας σωματιδίων και ογκομετρικών παροχών
 - Σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης
- Μειονεκτήματα:
 - Απαίτηση μεγάλων επιφανειών για δάπεδο έδρασης
 - Προβληματική λειτουργία από αέρια ρεύματα υψηλών θερμοκρασιών, υψηλής υγρασίας, διαβρωτικών χημικών κτλ.
 - Έχουν πιθανότητα για φωτιά ή έκρηξη

Σακκόφιλτρα

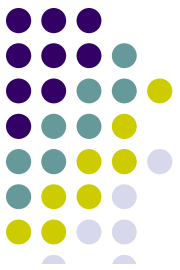


Σακκόφιλτρα



- Η επιλογή του υφάσματος (και του είδους της ύφανσης) είναι σημαντική και βασίζεται στις ιδιότητές του για απελευθέρωση σωματιδίων
- Το κάθε ύφασμα έχει διαφορετικές ιδιότητες όσο αφορά τις θερμοκρασίες λειτουργίας και το χημικό περιεχόμενο του αερίου ρεύματος (βλ. επόμενη διαφάνεια)
- Το ύφασμα πρέπει να συνδυάζεται σωστά με τα χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος και με το είδος του σωματιδίου

Σακκόφιλτρα

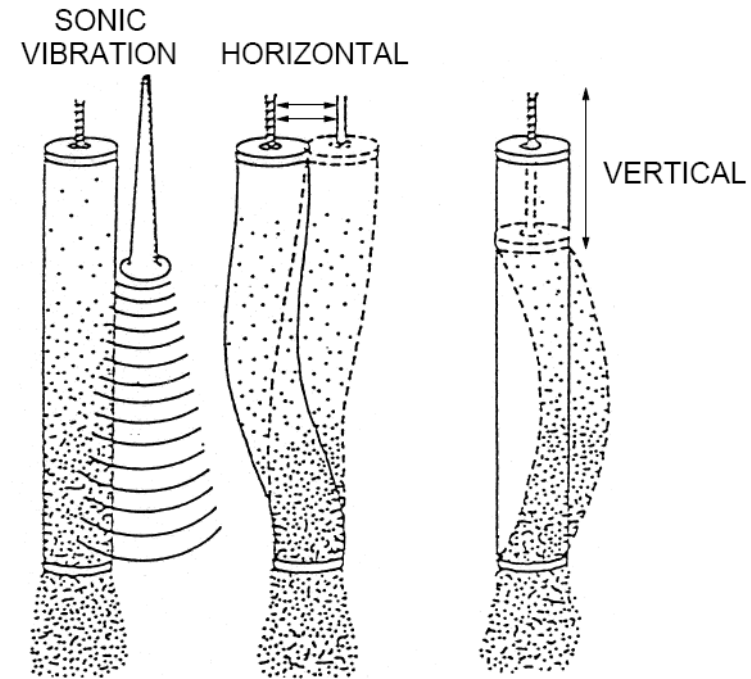
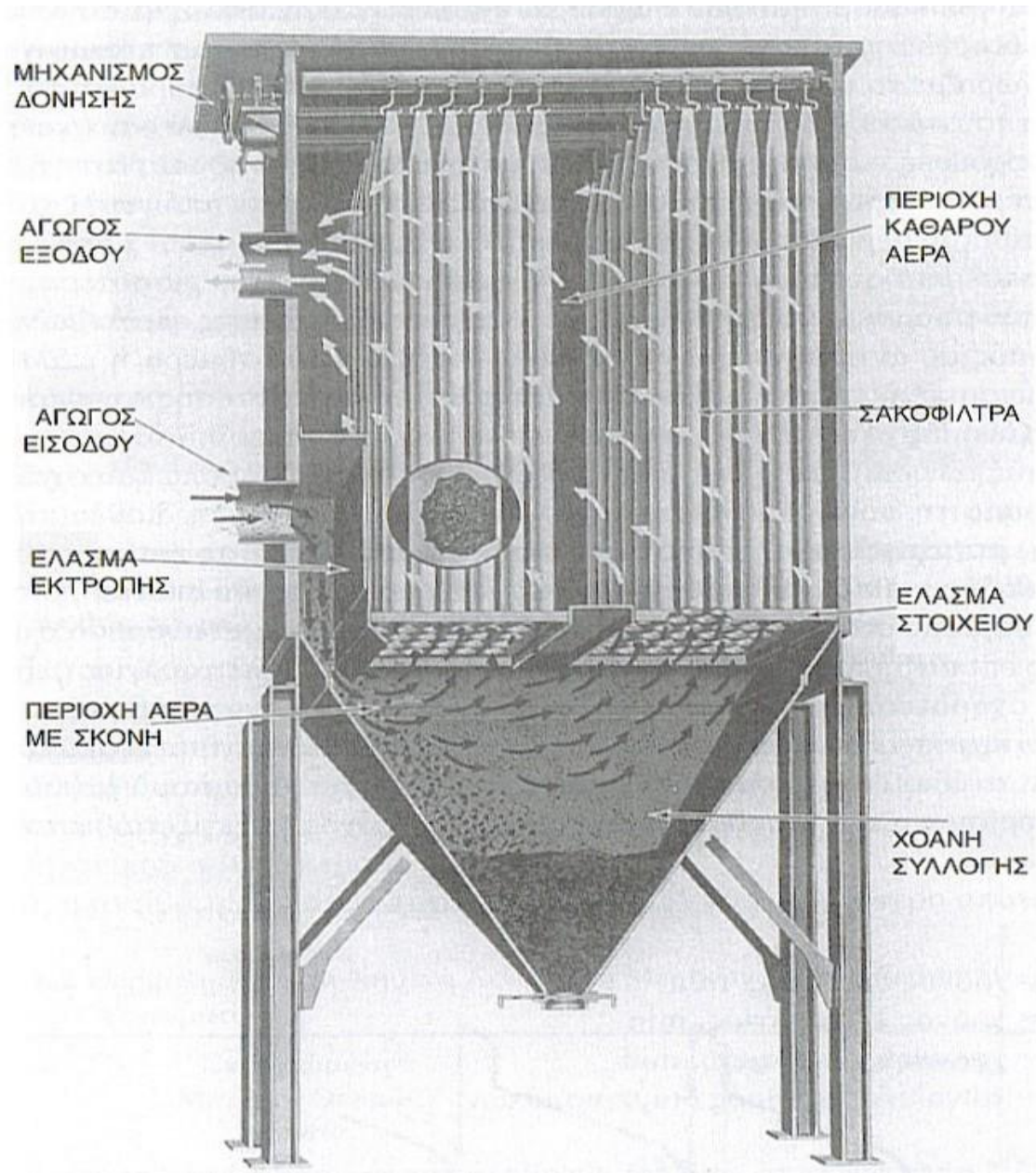


Πίνακας . Θερμοκρασία και Χημική Αντίσταση Μερικών Συνηθισμένων Βιομηχανικών Υφασμάτων

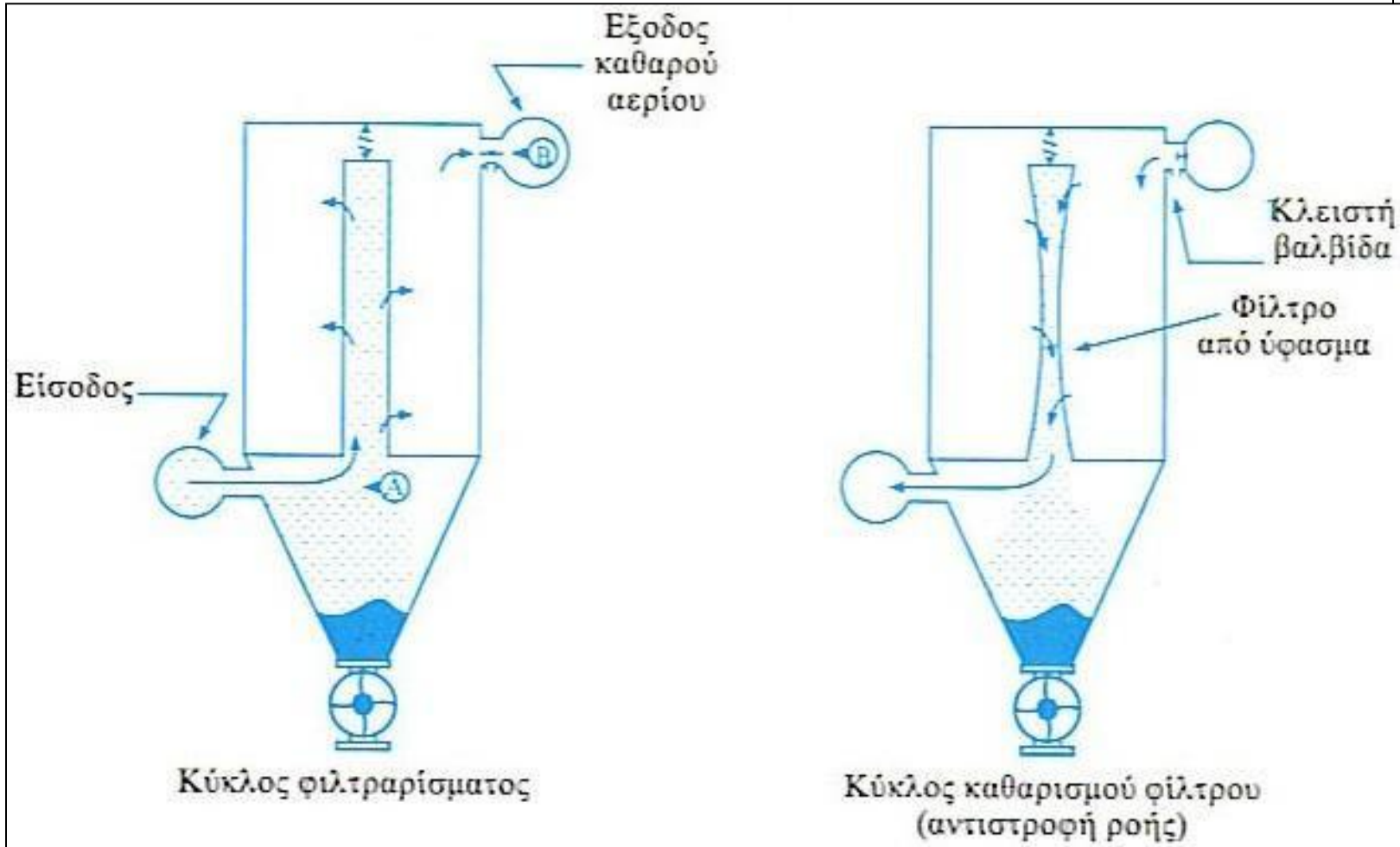
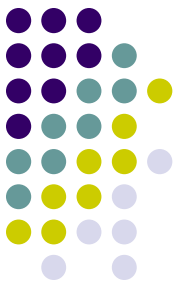
Υφασμα	Συνιστώμενη	Χημική Αντίσταση	
	Μέγιστη Θερμοκρασία	Οξύ	Βάση
Dynel	160	Καλή	Καλή
Βαμβάκι	180	Χαμηλή	Καλή
Μαλλί	200	Καλή	Χαμηλή
Νάιλον	200	Χαμηλή	Καλή
Πολυπροπυλένιο	200	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Orlon	260	Καλή	Μέτρια
Dacron	275	Καλή	Μέτρια
Nomex [®]	400	Μέτρια	Καλή
Teflon [®]	400	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Υαλο-ύφασμα	550	Καλή	Καλή

Προσαρμοσμένο από Kraus, 1979· Buonicore και Davis, 1992.

Σακκόφιλτρα με μηχανική δόνηση



Σακκόφιλτρα αντιθέτου ροής



Σακκόφιλτρα αντιθέτου ροής (Pretoria Portland Cement, RSA)



Σακκόφιλτρα – ταχύτητες διήθησης

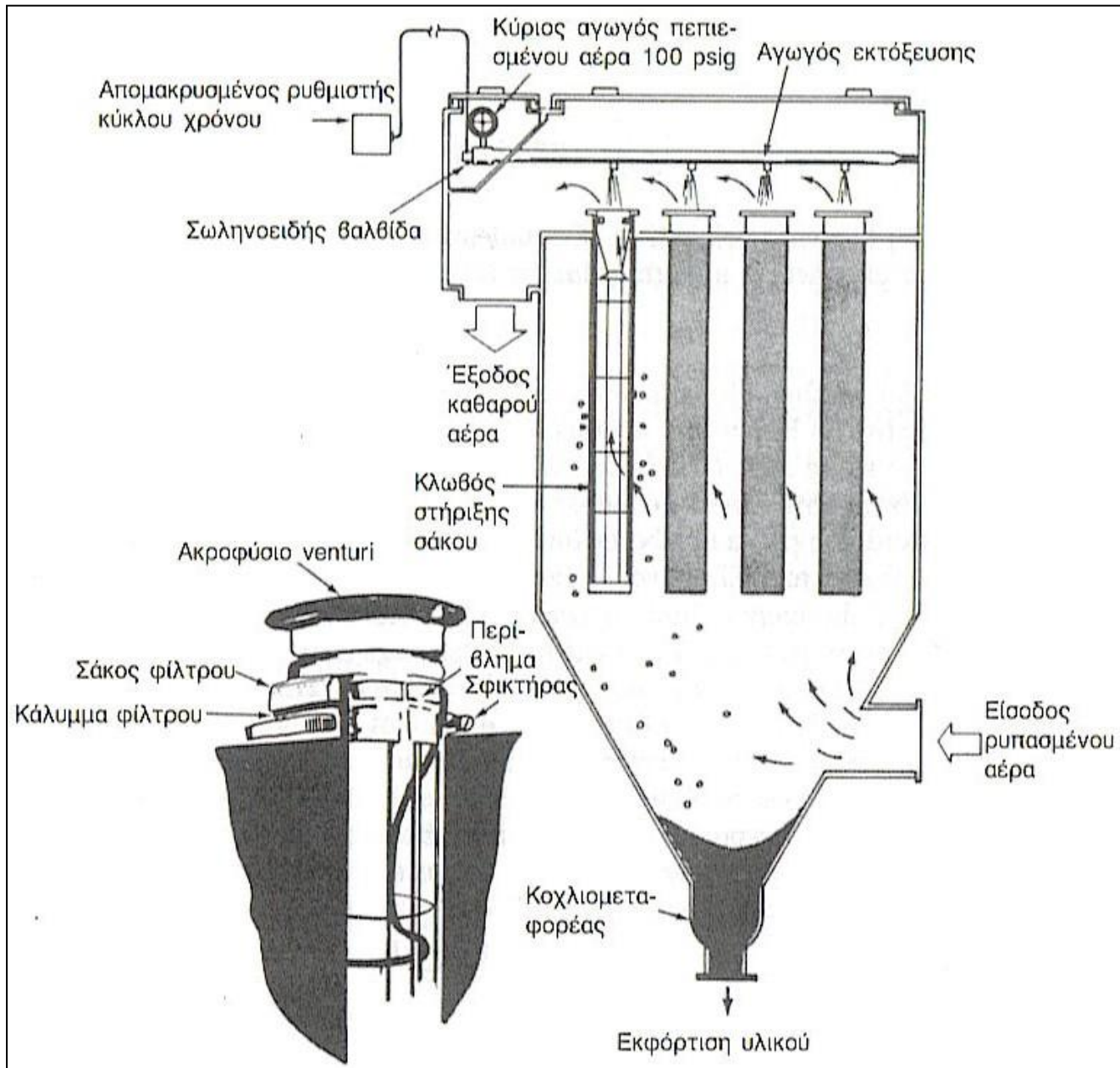
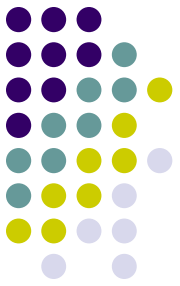


Πίνακας . Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης για Διάφορες Σκόνες σε Σακκόφιλτρα με Μηχανική Δόνηση και Ρεύμα Αέρα Αντίθετου Ροής

Σκόνες	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft ² ή ft/min
Ενεργοποιημένος Ξυλάνθρακας, Μαύρος Άνθρακας, Απορρυπαντικά, Ατμοί Μετάλλων	1.50
Οξειδίο του Αλουμινίου, Άνθρακας, Λιπάσματα, Γραφίτης, Μετάλλευμα Σιδήρου, Οξειδίο του Ασβεστίου, Χρώματα, Ιπτάμενη Τέφρα, Χρωστικές Ουσίες	2.0
Αργίλιο, Άργιλος, Κόκ, Ξυλάνθρακας, Κακάο, Οξειδίο του Μολύβδου, Μαρμαρυγία, Σαπούνι, Ζάχαρη, Τάλκης	2.25
Βωξίτης, Κεραμικά, Ορυκτό Χρώμιο, Άστριος, Αλεύρι, Πυρόλιθος, Γυαλί, Γύψος, Πλαστικά, Τσιμέντο	2.50
Αμιάντος, Ασβεστόλιθος, Χαλαζίας, Διοξειδίο του Πυριτίου, Φελλός, Ζωοτροφές και Δημητριακά, Μάρμαρο, Κέλυφος Οστρέων, Αλάτι	2.75
Δέρμα, Χαρτί, Καπνός, Ξύλο	3.0-3.25
	3.50 2-4 ft/min

Προσαρμοσμένο από Danielson, 1973· Turner et al., 1987(a).

Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα



Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα

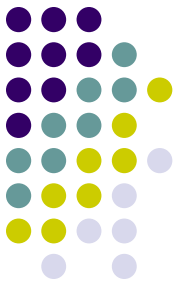


Πίνακας . Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης* για Διάφορες Σκόνες ή Καπνούς σε Σακκόφιλτρα Δόνησης με Αέρα υπό Πίεση.

Σκόνες ή Καπνοί	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft ² ή ft/min
Ανθρακας, Γραφίτης, Ατμοί Μεταλλουργίας, Σαπούνι, Καθαριστικά, Οξείδιο Ψευδαργύρου	5 – 6
Τσιμέντο (Ακατέργαστο), Άργιλος (Πράσινη), Πλαστικά, Χρωστικές Ουσίες, Άμυλο, Ζάχαρη, Ξυλόσκονη, Ψευδάργυρος (Μεταλλικός)	7 – 8
Οξείδιο Αλουμινίου, Τσιμέντο (Φινιρισμένο), Άργιλος (υαλοποιημένη), Άσβεστος, Άσβεστόλιθος, Γύψος, Μαρμαρυγίας, Χαλαζίας, Σπόρος Σόγιας, Τάλκης	9 – 11
Κακάο, Σοκολάτα, Αλεύρι, Σπόροι, Σκόνη Δέρματος, Πριονίδι, Καπνός	12 – 14 5-14 ft/min

*Μειώστε τις ταχύτητες κατά 1 ft/min εάν το φορτίο είναι υψηλό ή εάν τα σωματίδια είναι πάρα πολύ μικρά.
Προσαρμοσμένο από Danielson, 1973· Theodore και Buonicore, 1976.

Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα



- Μειονεκτήματα
- Μεγάλο μέρος από τη σκόνη που πέφτει από το σάκο βρίσκεται πάλι αιωρούμενη και επιστρέφει στο ίδιο ή σε γειτονικά σακκόφιλτρα
- Ο καθαρισμός είναι ανομοιόμορφος (το κάτω 1/3 σχεδόν δεν καθαρίζεται)

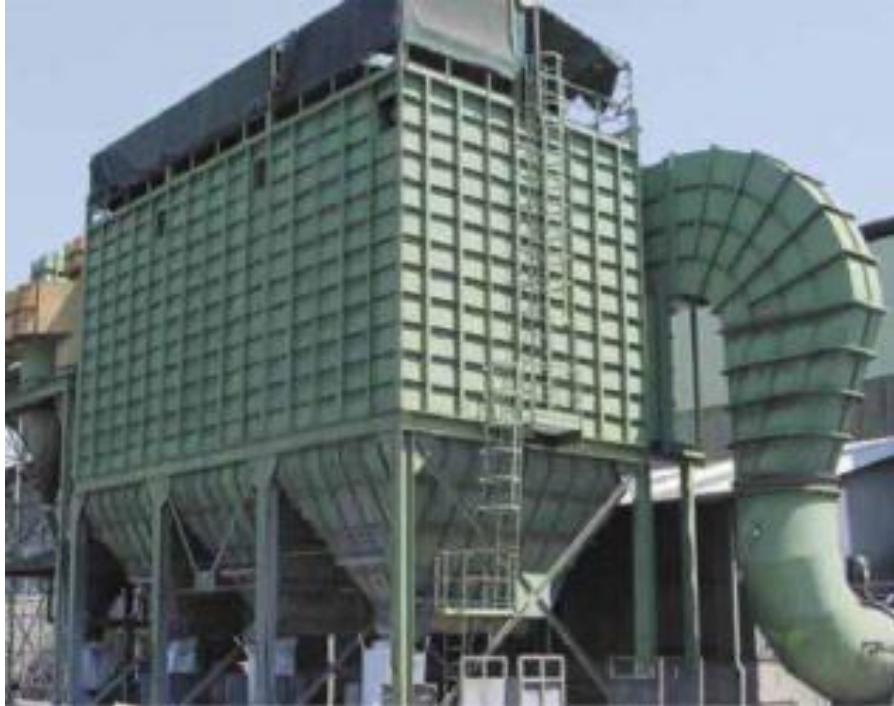
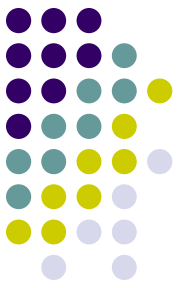
Σακκόφιλτρα



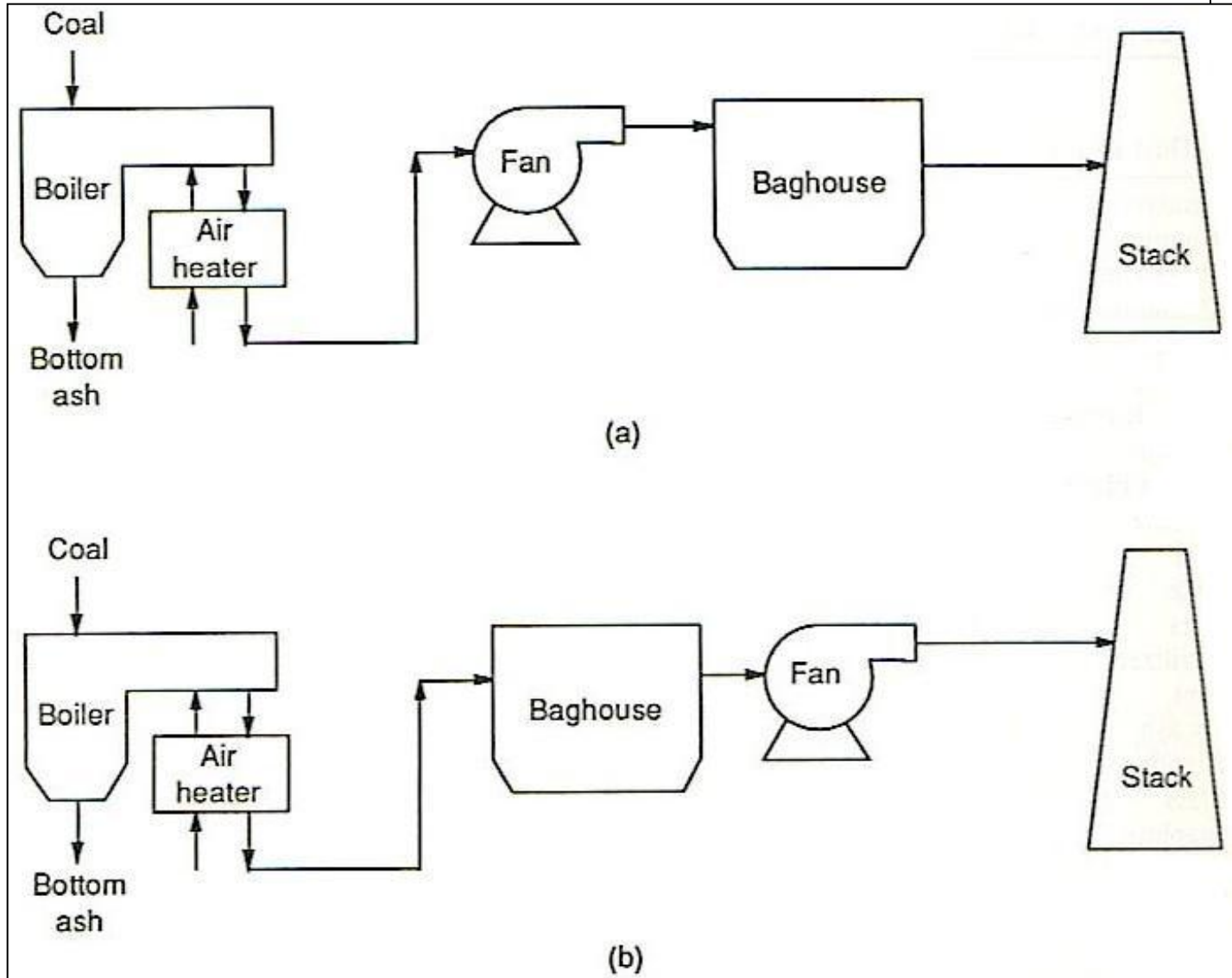
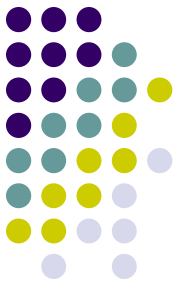
ΔΠΘ-ΜΠΔ



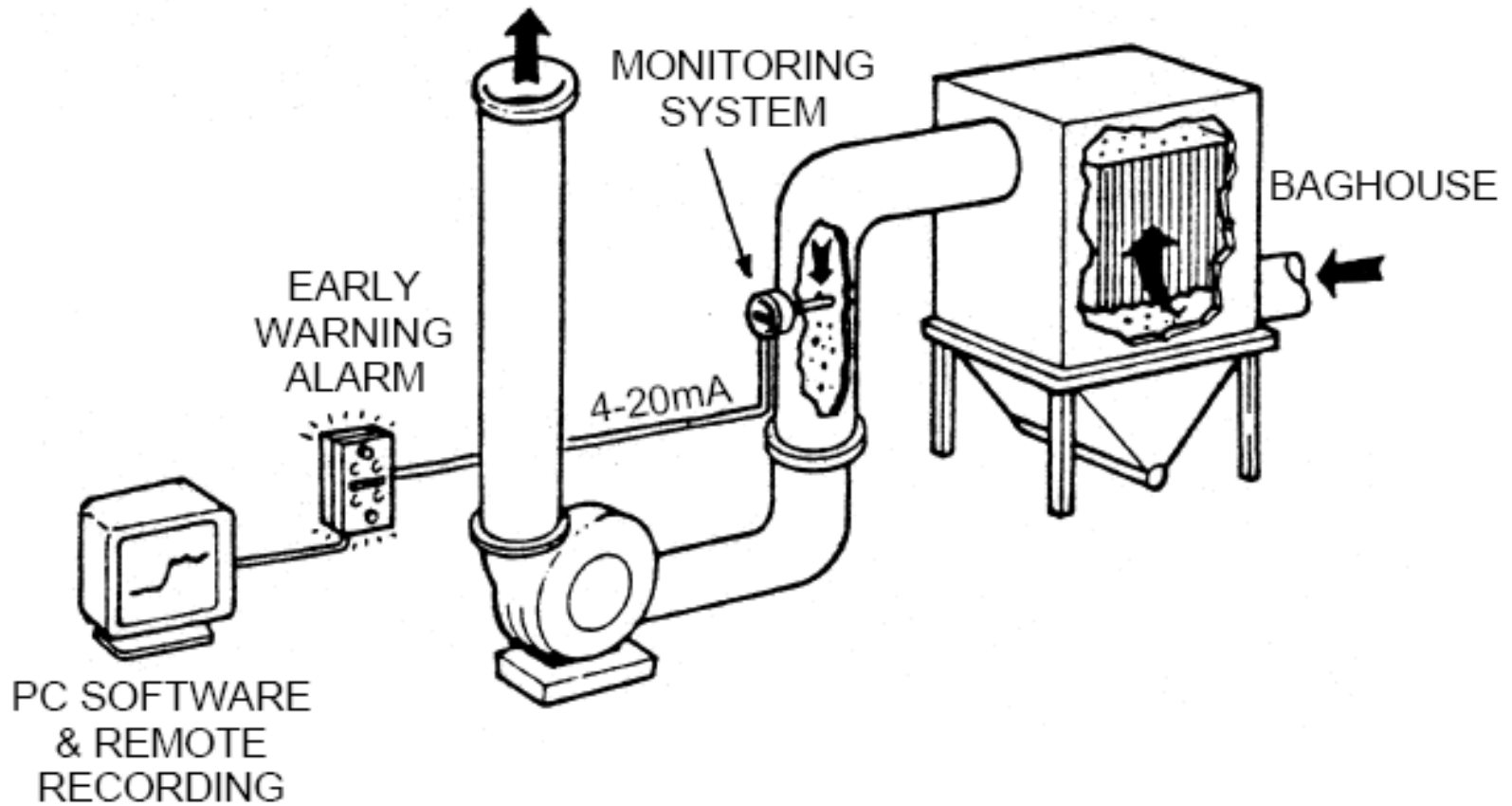
Σακκόφιλτρα



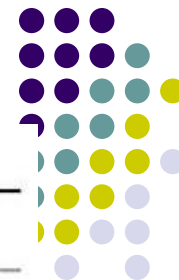
Συστήματα σακκόφιλτρων θετικής (a) και αρνητικής πίεσης (b)



Τυπική διάταξη σακκόφιλτρου αρνητικής πίεσης



Σακκόφιλτρα - κόστος



Πίνακας . Τιμές Υφασμάτων Σάκων Φιλτραρίσματος, \$/ft² (σε δολάρια 1998)

Είδος Καθαρισμού	Διάμετρος Σάκου (ίντσες)	Τύπος Υλικού									
		PE	PP	NO	HA	FG	CO	TF	P8	RT	NX
Πεπιεσμ. Αέρα, TR ^b	4-1/2 to 5-1/8	0.75	0.81	2.17	1.24	1.92	NA	12.21	4.06	2.87	20.66
	6 to 8	0.67	0.72	1.95	1.15	1.60	NA	9.70	3.85	2.62	NA
	Πεπιεσμ. Αέρα, BR ^b	4-1/2 to 5-1/8	0.53	0.53	1.84	0.95	1.69	NA	12.92	3.60	2.42
	6 to 8	0.50	0.60	1.77	0.98	1.55	NA	9.00	3.51	2.30	NA
Μηχ. Δονητή, Ιμάντας επάνω	5	0.63	0.88	1.61	1.03	NA	0.70	NA	NA	NA	NA
Μηχ. Δονητή, Βρόγχ.- στην κορυφή	5	0.61	1.01	1.53	1.04	NA	0.59	NA	NA	NA	NA
Αντίθετου αέρα	8	0.63	1.52	1.35	NA	1.14	NA	NA	NA	NA	NA
με δακτυλίους	11-1/2	0.62	NA	1.43	NA	1.01	NA	NA	NA	NA	NA
Αντίθετου αέρα	8	0.44	NA	1.39	NA	0.95	NA	NA	NA	NA	NA
χωρίς δακτυλίους	11-1/2	0.44	NA	1.17	NA	0.75	NA	NA	NA	NA	NA

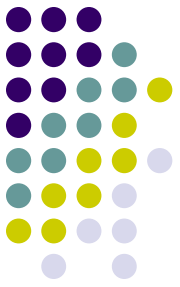
NA = Μη εφαρμόσιμο

^aΥλικά: PE = πολυεστέρας 16-oz.; PP = πολυπροπυλένιο 16-oz.; NO = Nomex 14-oz.; HA = ακρυλικό ομοιοπολυμερές 16-oz.; FG = υαλούφασμα 16-01 με 10% Teflon; CO = βαμβάκι 9-oz.; TF = τσόχα Teflon 22-oz.; P8 = P84 16-oz.; RT = Ryton 16-oz.; NX = Nextel 16-oz.

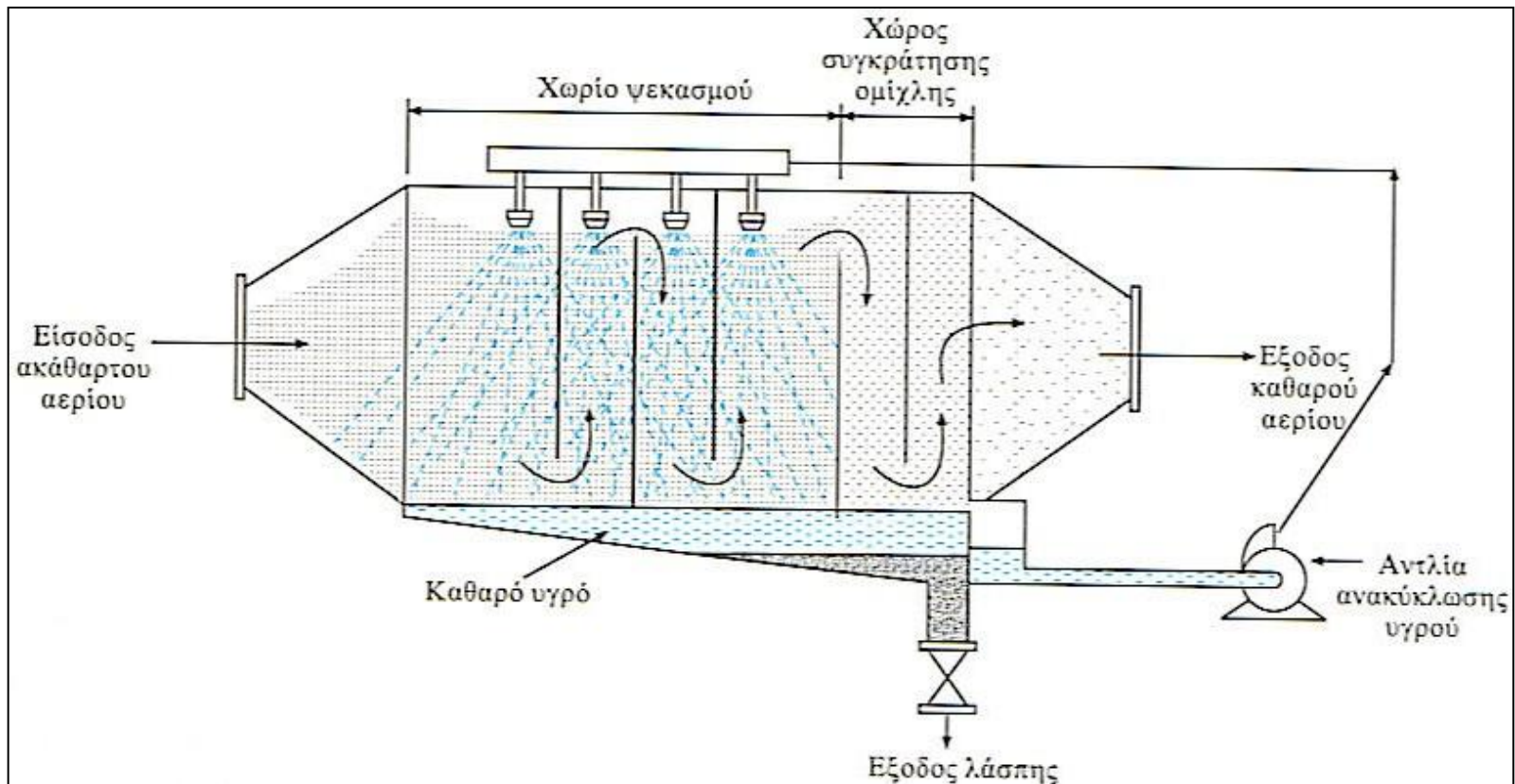
^bΤρόποι αφαίρεσης σάκων: TR = Αφαίρεση σάκου από πάνω (αυτόματη συγκράτηση); BR = Αφαίρεση σάκου από κάτω.

Σημείωση: Για σακκόφιλτρα με μηχανικό δονητή και αντίθετο αέρα, όλοι οι σάκοι είναι με ύφανση. Για σακκόφιλτρα δόνησης με πεπιεσμένο αέρα, όλοι οι σάκοι είναι τσόχιοι εκτός του υαλούφασματος που είναι με ύφανση. Όλες οι τιμές είναι για τελειωμένους σάκους και οι τιμές μπορεί να ποικίλουν από προμηθευτή σε προμηθευτή.

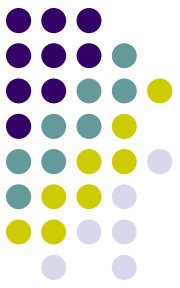
Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)



- Χρήση υγρού (νερό) υπό μορφή ψεκασμού για την απομάκρυνση σωματιδιακής ύλης
- Σύγκρουση σωματιδίου σκόνης με σταγόνα και δέσμευση του σωματιδίου
- Οι σταγόνες λιμνάζουν στον πυθμένα απελευθερώνοντας τη σκόνη
- Κατά την έξοδο τα σταγονίδια προσκρούουν στην επιφάνεια του λιμνάζοντος υγρού και συγκρατείται η ομίχλη ώστε να εξέλθει καθαρό αέριο

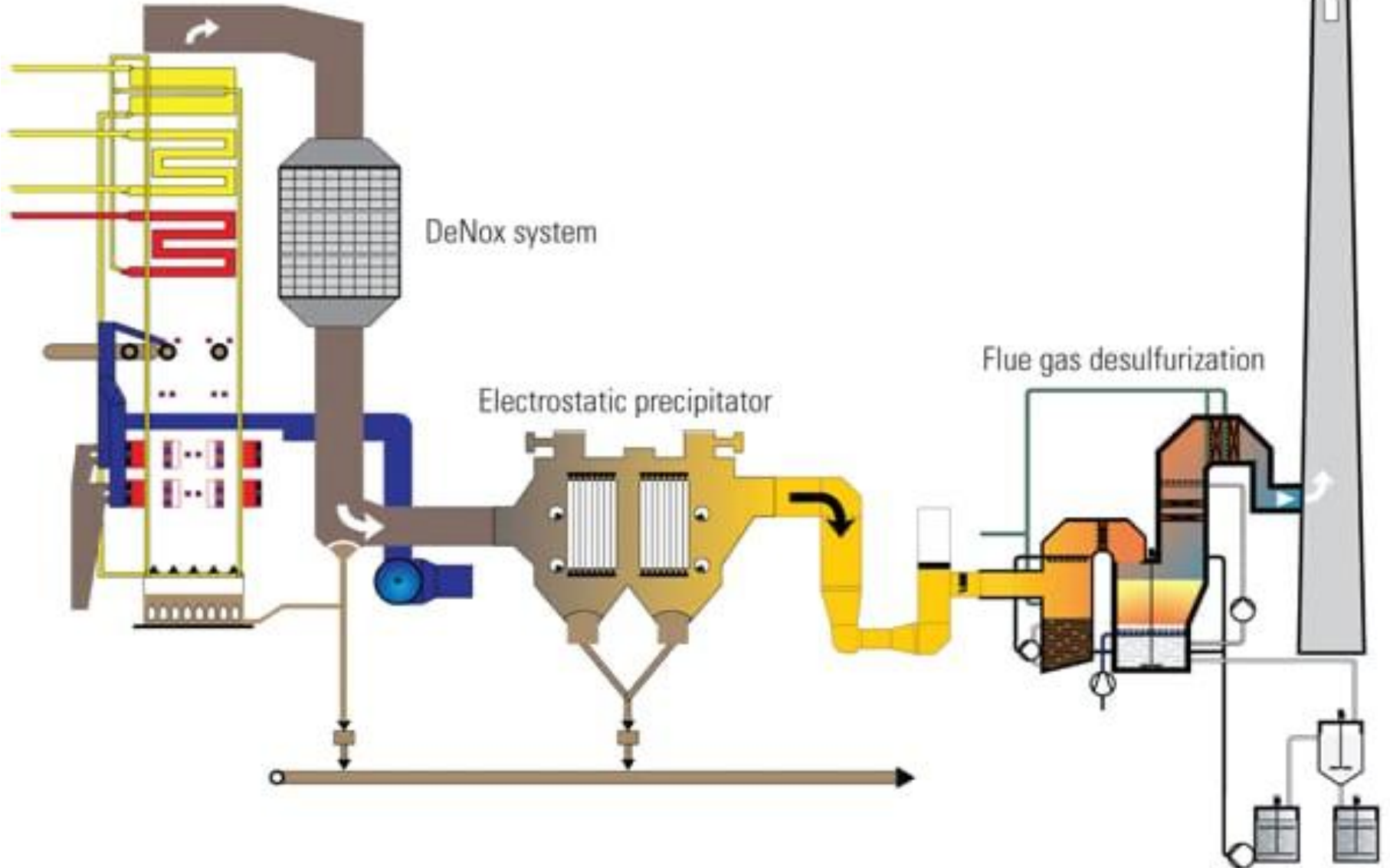


Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)

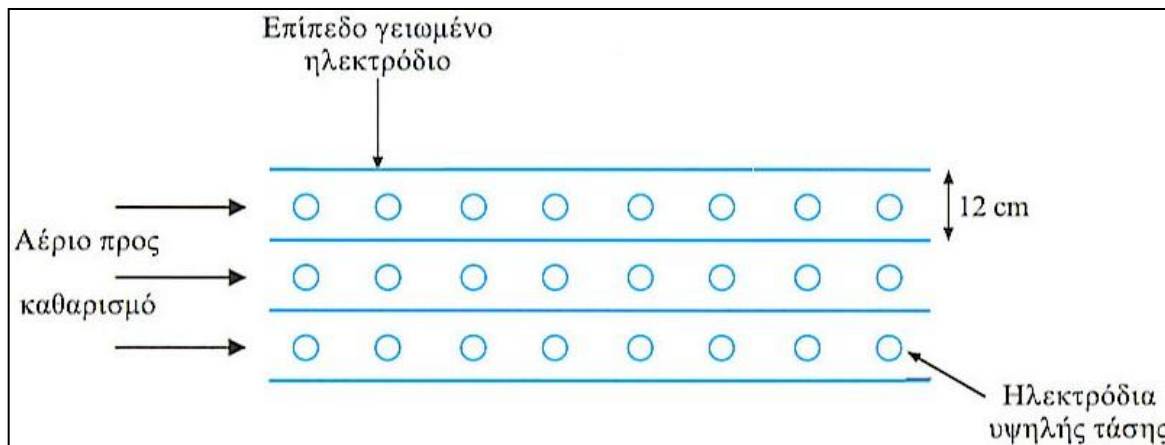
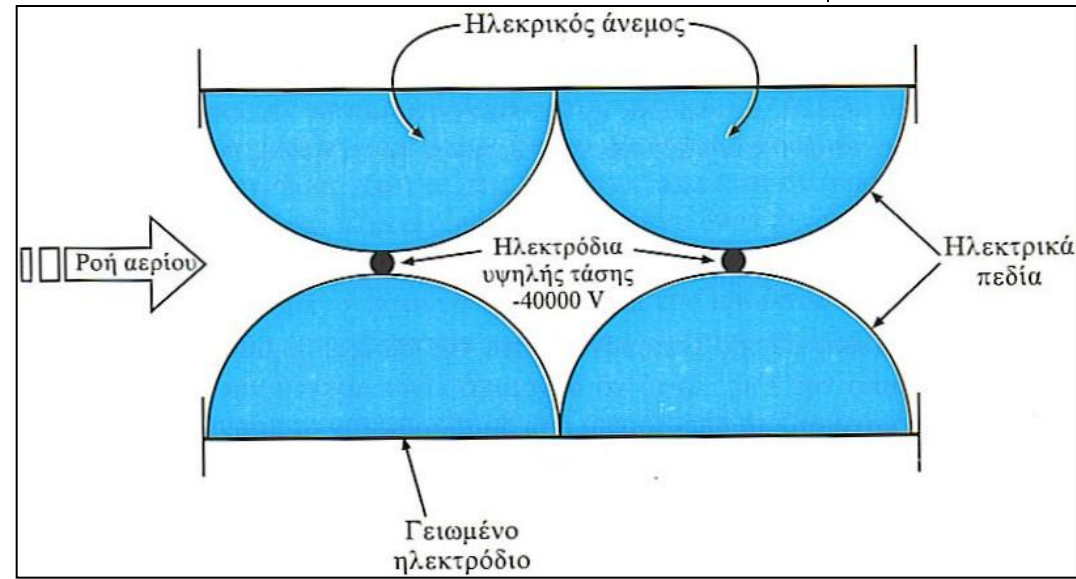
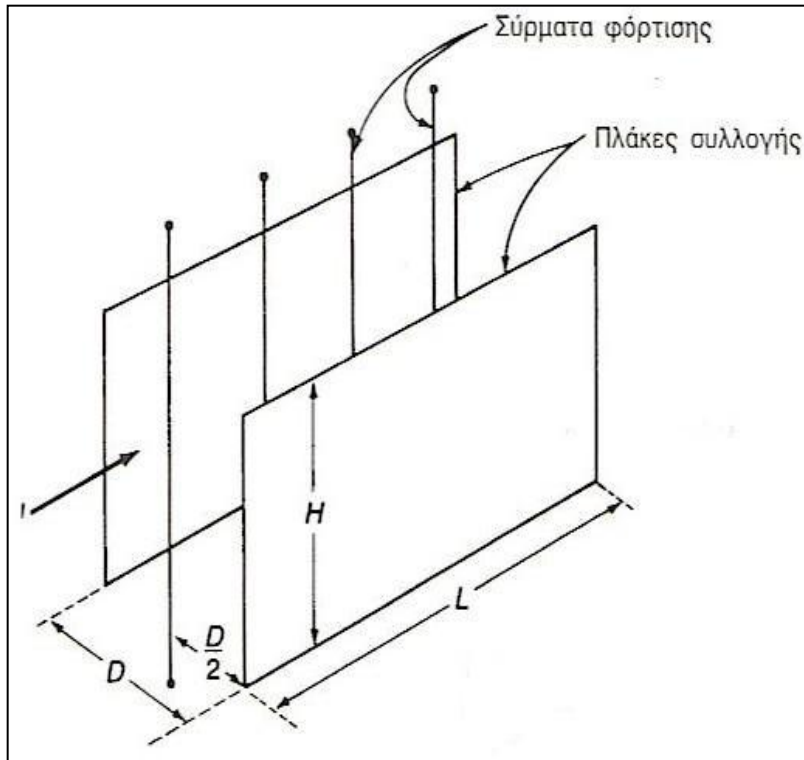
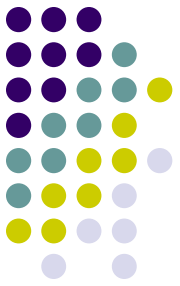


- Η διεργασία του διαχωρισμού με ηλεκτροστατικά φίλτρα περιλαμβάνει:
 - Ιονισμό του αέρα με το ρυπαντικό φορτίο που ρέει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια
 - Φόρτιση, μετακίνηση και συλλογή του ρυπαντικού φορτίου στις αντίθετα φορτισμένες πλάκες
 - Απομάκρυνση των σωματιδίων από τις πλάκες
- Σωματίδια: ξηρές σκόνες ή/και υγρά σταγονίδια
- Οι δυνάμεις συλλογής δρουν μόνο πάνω στα σωματίδια και όχι σε ολόκληρο το αέριο ρεύμα → υψηλή απόδοση συλλογής και χαμηλή πτώση πίεσης του αέρα
- Ταχύτητες αέριου ρεύματος 1-2 m/sec

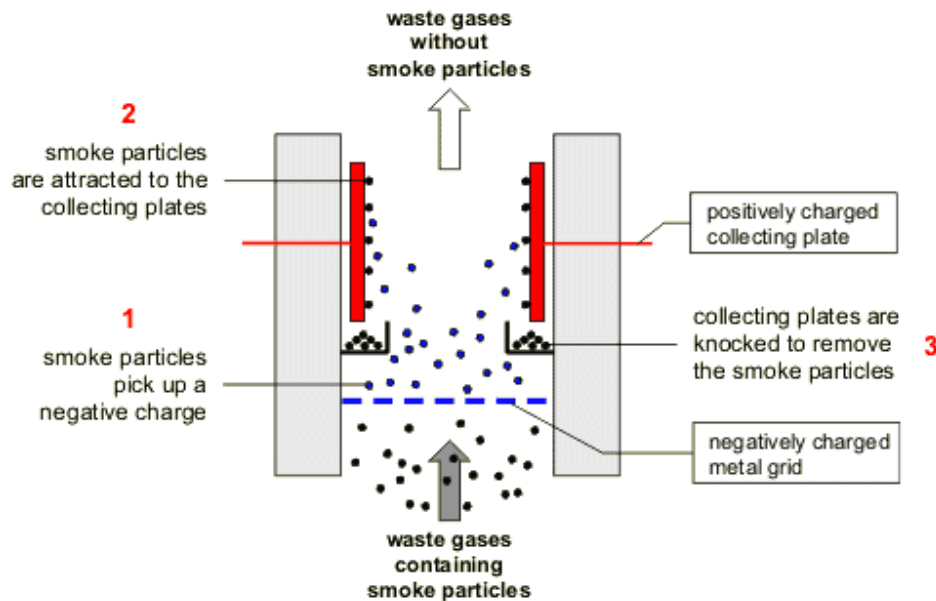
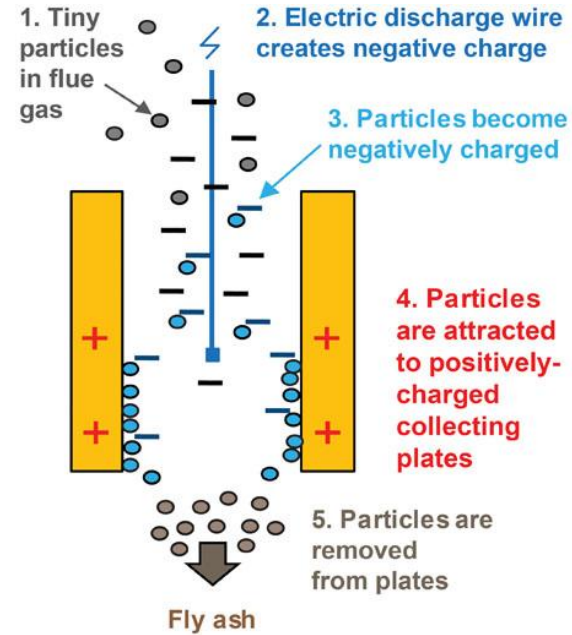
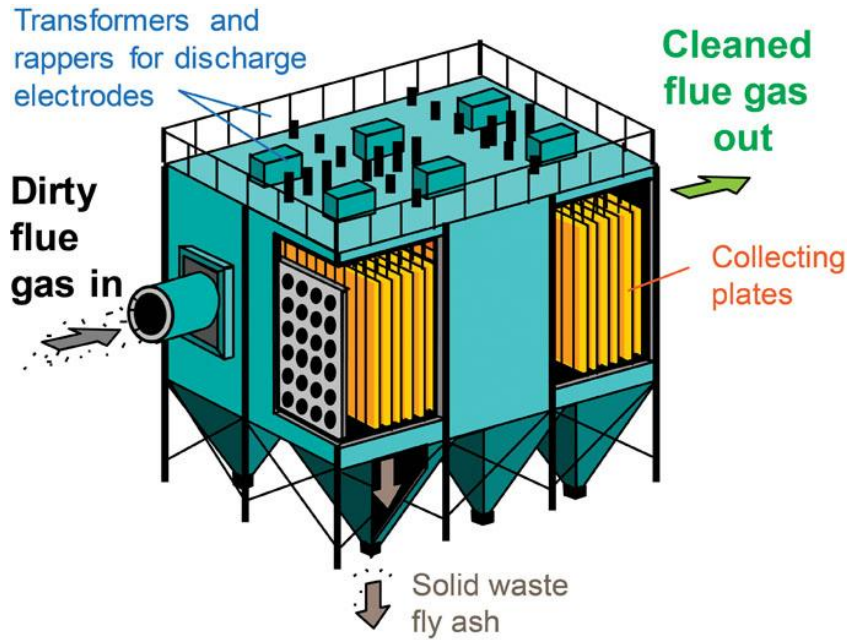
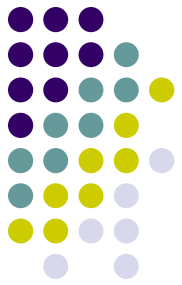
Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)



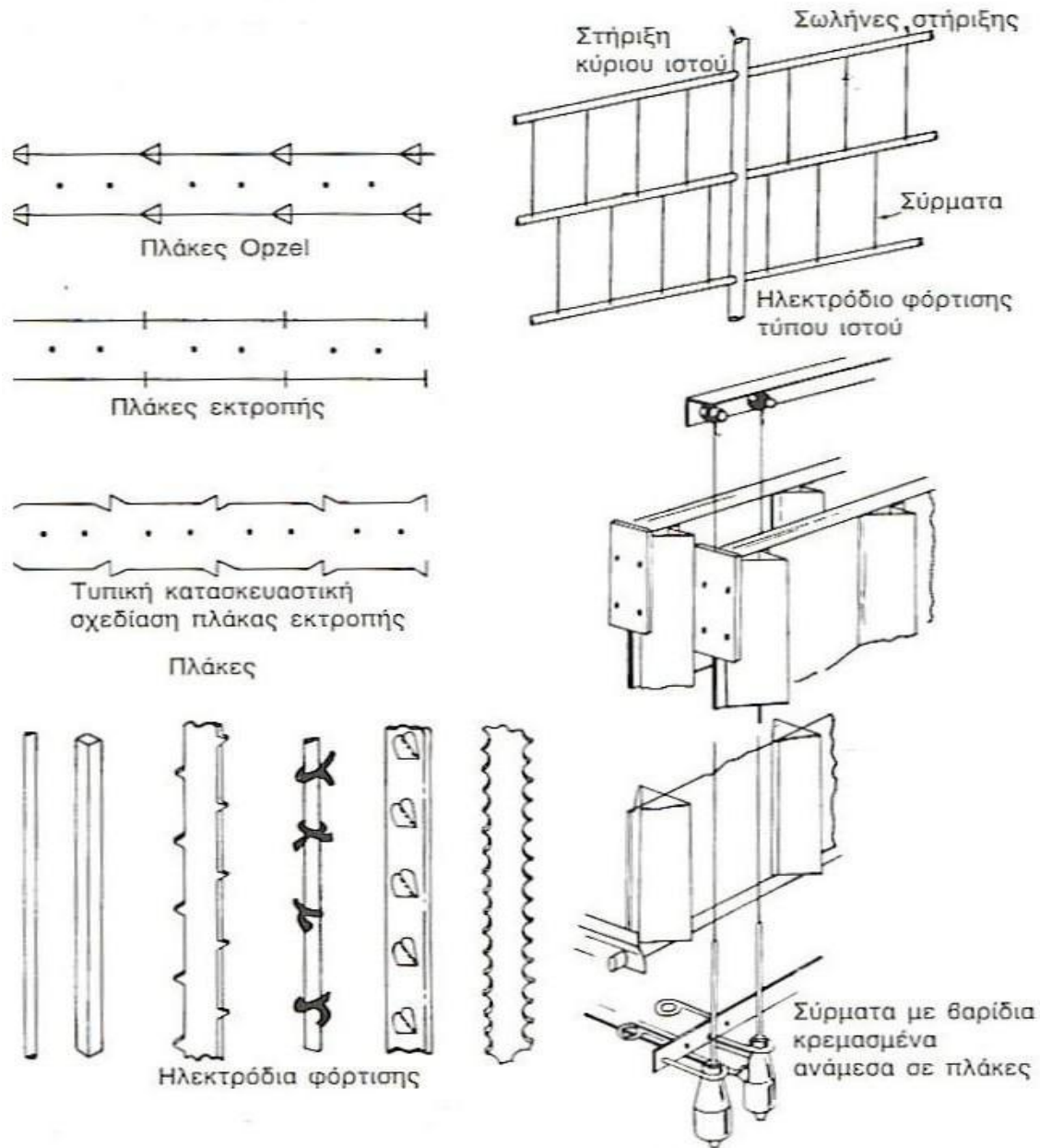
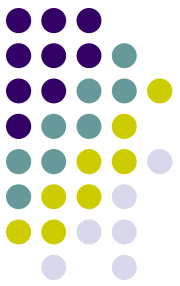
Ηλεκτροστατικά φίλτρα (αρχή λειτουργίας)



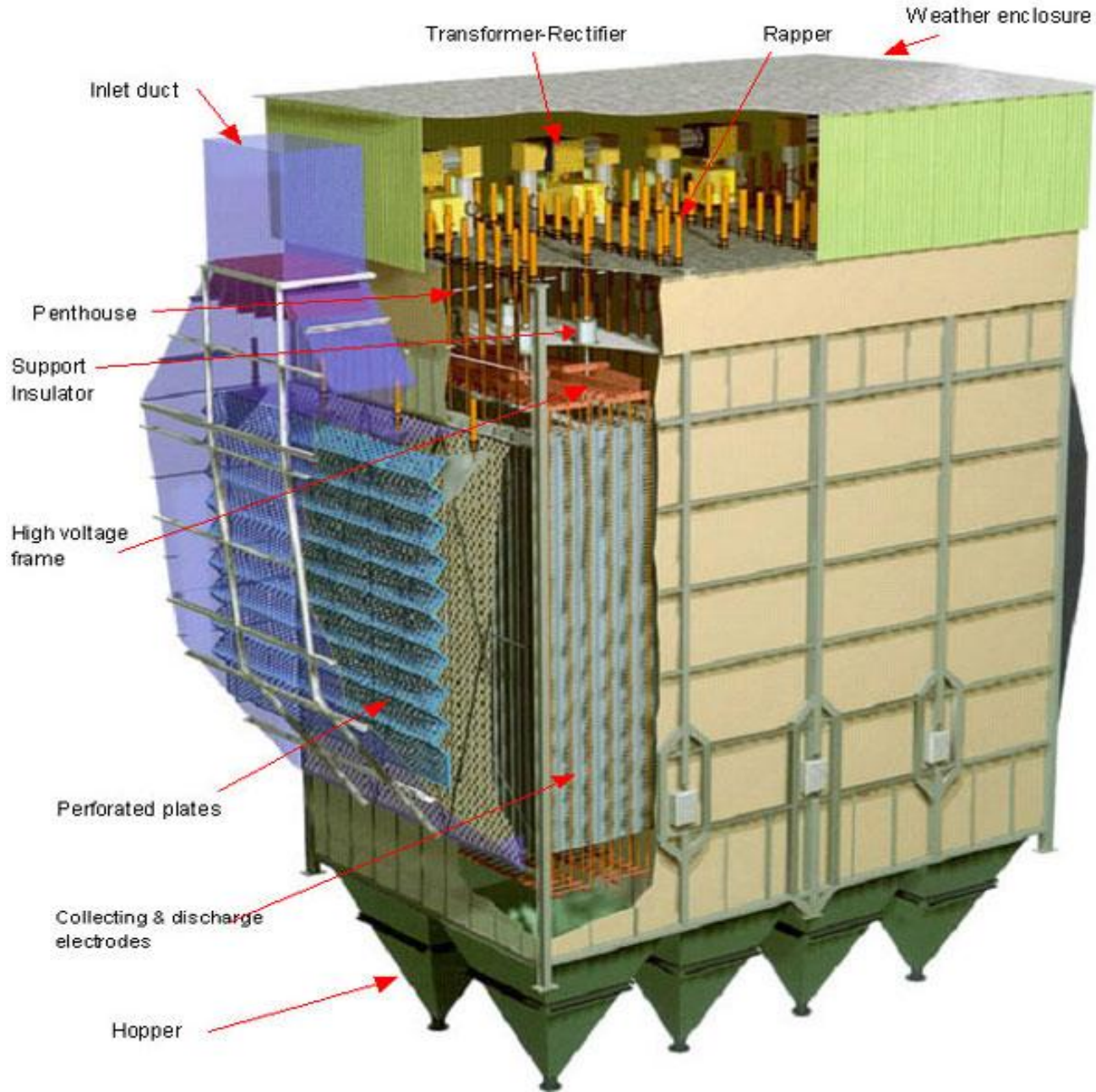
Αρχή Λειτουργίας Η/Φ



ESP - Ηλεκτρόδια Φόρτισης και Συλλογής



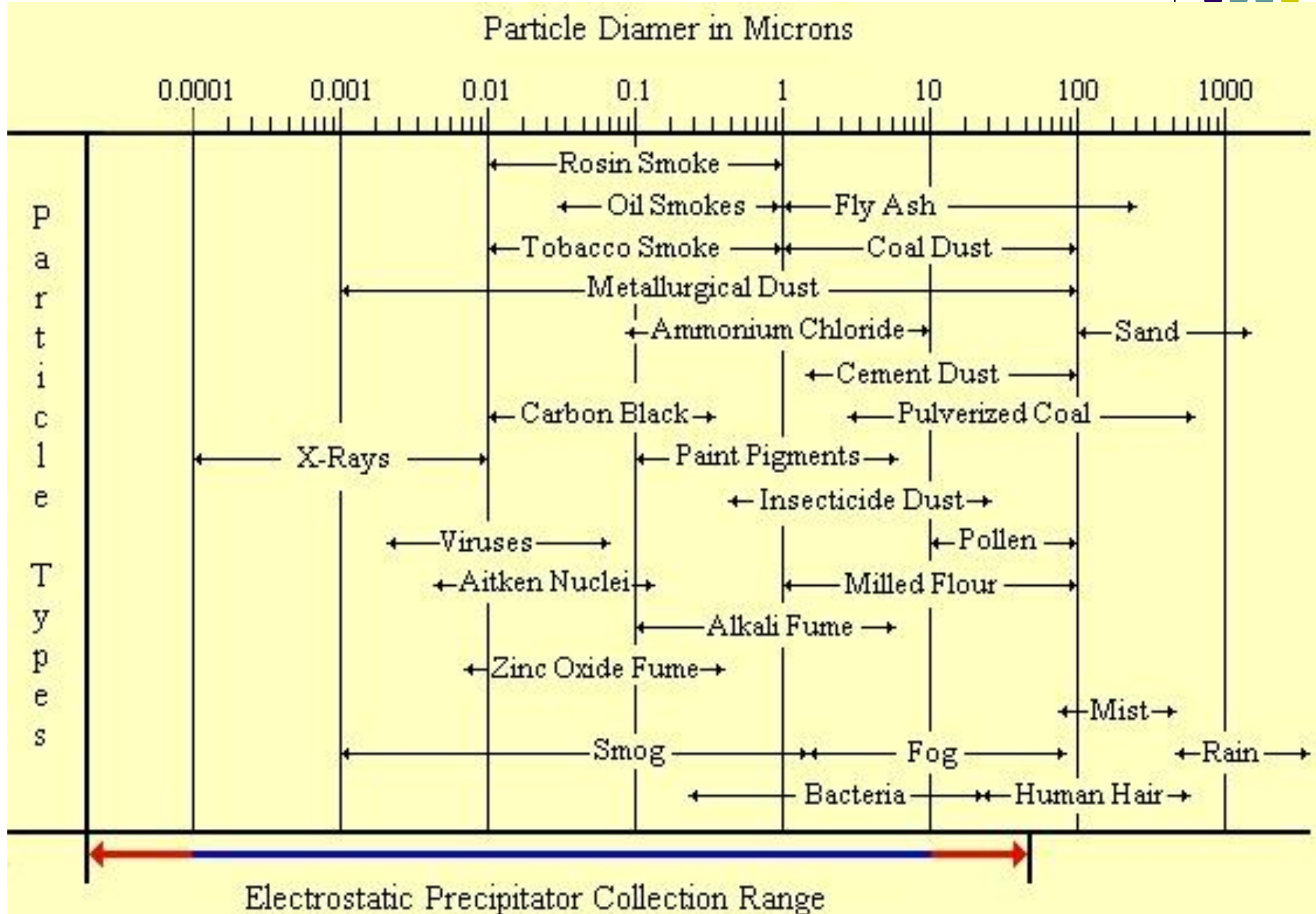
Το Εσωτερικό ενός Η/Φ



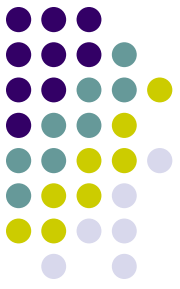
Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



Εύρος συγκράτησης σωματιδίων από ένα Η/Φ



Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)



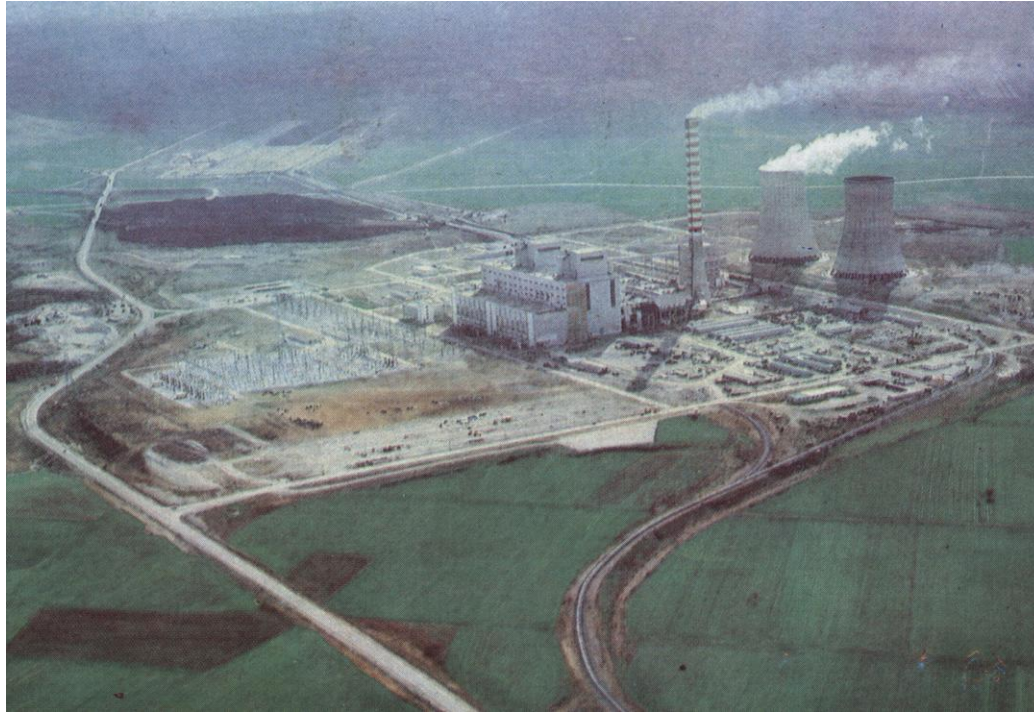
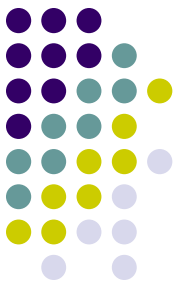
● Πλεονεκτήματα:

- Πολύ υψηλές αποδόσεις ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια (> 99%)
- Δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων όγκων αερίου (~120.000 m³/min) με χαμηλή πτώση πίεσης
- Ήπρη συλλογή πολύτιμων υλικών
- Λειτουργία σε εκτεταμένο εύρος θερμοκρασιών (~550°C)
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης λόγω απουσίας κινούμενων μερών
- Ευκολία επέκτασης με προσθήκη επιπλέον μονάδων

● Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος επένδυσης
- Κατάληψη μεγάλου χώρου
- Ακατάλληλα για δέσμευση αερίων ρύπων
- Συνθήκες λειτουργίας με πολύ υψηλές τάσεις (50.000 V) (ασφάλεια εργαζομένων)
- Απαίτηση για λειτουργία σε σταθερές συνθήκες
- Απρόβλεπτη απόδοση συλλογής σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις σκονών
- Δημιουργία κρούστας 0,2-0,6 cm. «Ειδική αντίσταση σκόνης» = ηλεκτρική αντίσταση κρούστας 10⁷-10¹¹ Ω/cm

Η/Φ Μελέτη Περίπτωσης: Α.Η.Σ Αμυνταίου-Φιλώτα



ΕΝΕΡΓΕΙΑ / 14 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2020 /

ΑΜΥΝΤΑΙΟ: ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Η ΜΟΝΑΔΑ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ-ΛΙΓΝΪΤΗ (ΦΩΤΟ)

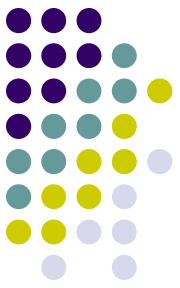
Τηλεθέρμανση: Σε λειτουργία, για πρώτη φορά στη χώρα μας, ένα νέο, καινοτόμο και πρωτοποριακό ενεργειακό έργο για τα ελληνικά δεδομένα

Η/Φ του Α.Η.Σ. Αμυνταίου

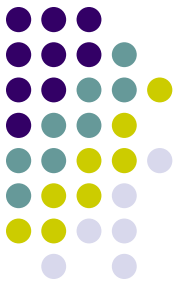


ΔΠΘ-ΜΠΔ

Σύστημα Αναπήδησης για την απομάκρυνση της τέφρας



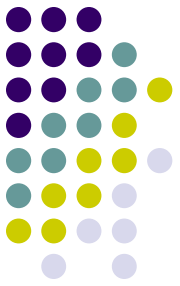
Τύπος Απόδοσης ενός Η/Φ



$$Efficiency = 1 - e^{-\frac{v_m \cdot A}{Q}}$$

- A = Συλλεκτική επιφάνεια (m^2)
- Q = Ροή του αέρα μέσα στο Η/Φ (m^3/s)
- v_m = ταχύτητα μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο (m/s)

Μέτρα σύγκρισης



- Κάθε Η/Φ κατακρατεί 360.000 t/y
- Κάθε μονάδα έχει 2 Η/Φ
- Το σύνολο των Η/Φ είναι 30
- Επομένως συγκρατούνται 11.000.000 t/y
- Οι διαφυγές φτάνουν τις 110.000 t/y

Διαστάσεις ενός Η/Φ



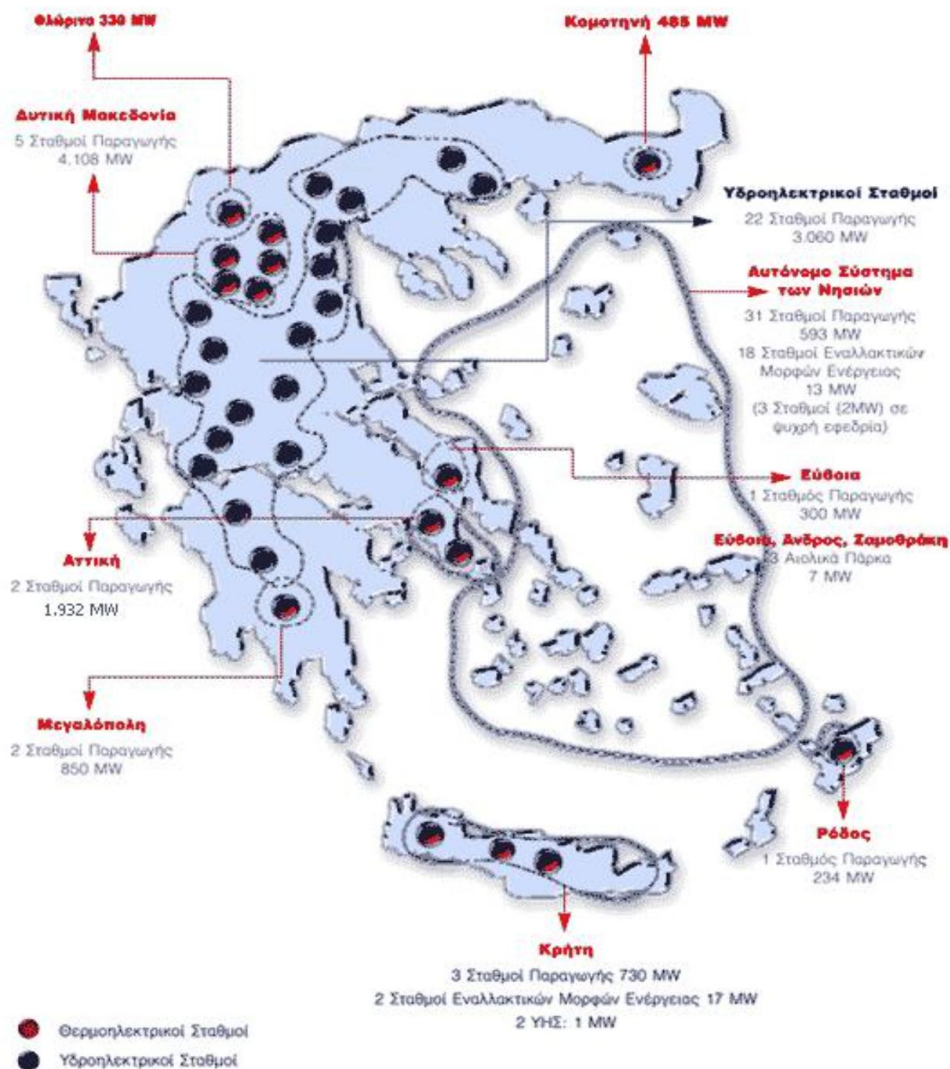
Αριθμός θαλάμου	1
Αριθμός ομάδων μετασχηματιστών-ανορθωτών	8
Συνολικό πλάτος	15 m
Συνολικό ύψος	13,5 m
Συνολικός χώρος	4.617 m ³
Σύνολο χοανών	20
Πάχος όλων των μετάλλων	5 mm
Επιφάνεια οροφής	610 m ²
Επιφάνεια σωλήνα	1.090 m ²
Επιφάνεια χοάνης	1.400 m ²

Καυσαέρια που εισέρχονται στο Η/Φ σε βάρος

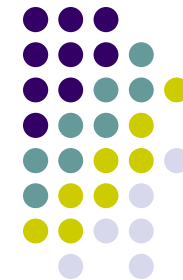


Ποσότητες	Μονάδες	170 MW	210 MW	280 MW	300 MW
Ποσότητες σκόνης					
Εισαγωγή στον Η/Φ	t/h	24,08	28,92	38,61	41,73
Συγκέντρωση στη χοάνη	t/h	24,006	28,90	38,58	41,688
Διαφυγές	Kg/h	13,966	19,08	29,34	41,73

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020



3. Ο Όμιλος ΔΕΗ σε αριθμούς



ΔΕΔΔΗΕ



Ανανεώσιμες



4.649.444.000€

Κύκλος εργασιών

376.471.661€

Επενδύσεις*

7.925.000€

Κοινωνική Συνεισφορά



713.609.000€

Μισθοί, Παροχές
Εργαζομένων και
Εργοδοτικές εισφορές



13.832

Εργαζόμενοι

7.593.412

Αριθμός παροχών στο δίκτυο ΔΕΔΔΗΕ

6.105.821

Αριθμός πελατών ΔΕΗ



5.000.000€

Δωρεά στο ΕΣΥ για αντιμετώπιση
του COVID-19.

840.000€

Μέτρα Υποστήριξης COVID-19
εργαζομένων



34

Αιολικά Πάρκα



242.561χλμ.

Συνολικό μήκος των
γραμμών δικτύου
-6 φορές η περίμετρος της γης



28

Φωτοβολταϊκοί
Σταθμοί



16

Υδροηλεκτρικοί
Σταθμοί



18

Μικροί
Υδροηλεκτρικοί
Σταθμοί



1

Υβριδικός
Σταθμός



5

Ορυχεία



14

Ατμοηλεκτρικά
Σταθμοί



32

Αυτόνομοι και Τοπικοί
Σταθμοί Παραγωγής

11.001** MW

Εγκατεστημένη Ισχύς

3.137 (28,8%***)
ΛΙΓΝΙΤΗΣ

2.689 (24,7%)
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

1.877 (17,3%)
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ

3.171 (29,2%)
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ



21.320 GWh

Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας

5.722 (27%)**** λιγνίτης, 8.567 (41%) φυσικό αέριο

3.832 (18%) πετρέλαιο, 2.901 (14%) υδροηλεκτρικά

* Περιλαμβάνει επενδύσεις στο δίκτυο διανομής 162.101.886 ευρώ.

** Δεν περιλαμβάνεται η εγκατεστημένη ισχύς σε εταιρείες που η θυγατρική εταιρεία ΔΕΗ Ανανεώσιμες έχει μειωληφικό πακέτο, που ανήρουνται σε συνολική ισχύ 64,37 MW για το 2020.

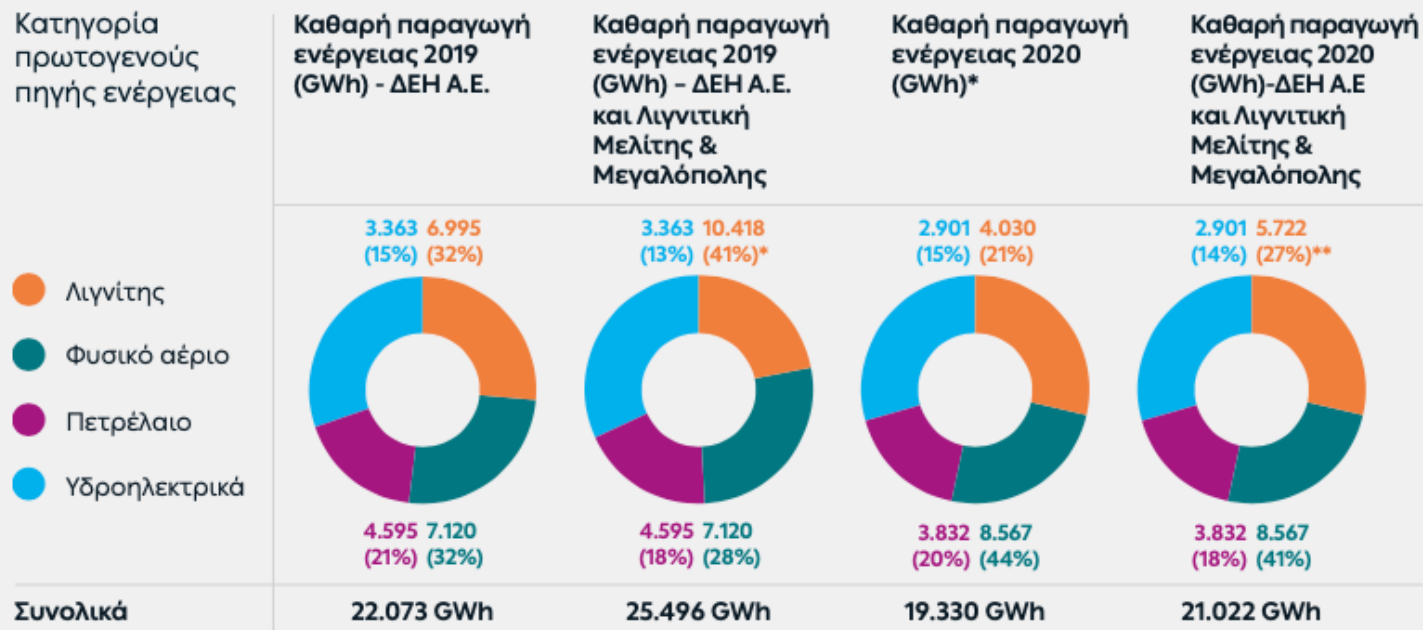
*** Συμπεριλαμβάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των θυγατρικών εταιρειών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε..

**** Συμπεριλαμβάνονται οι παραγωγές των θυγατρικών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε..

ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020



ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΕΗ Α.Ε.



* Συμπεριλαμβάνονται οι παραγωγές των θυγατρικών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε. των οποίων η συνολική καθαρή παραγωγή ενέργειας το 2019 ήταν 2.338 GWh και 1.085 GWh αντίστοιχα.

** Συμπεριλαμβάνονται οι παραγωγές των θυγατρικών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε. των οποίων η συνολική καθαρή παραγωγή ενέργειας το 2020 ήταν 963,6 GWh και 728,7 GWh αντίστοιχα.

ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020



ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΔΕΗ ΣΤΙΣ ΕΥΡΥΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ

Θέση	Αριθμός σταθμών	Μετρούμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι
Βόρειο σύστημα ¹	7	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Λαύριο	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀
Αλιβέρι	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀
Κομοτηνή	1	NO _x
Χανιά	3	NO _x
Λινοπεράματα	3	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀
Αθερινόλακκος	3	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Ρόδος ²	3	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Κως	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Σάμος	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀
Χίος	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Λέσβος	1	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , PM _{2,5}
Σύνολο	26³	

ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020

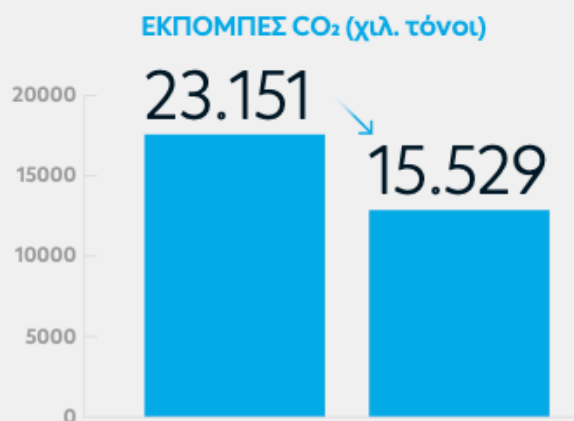


ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	2019	2020	2019	2020
	ΔΕΗ Α.Ε.	ΔΕΗ Α.Ε.	ΟΜΙΛΟΣ	ΟΜΙΛΟΣ
Αριθμός εγκαταστάσεων με πιστοποιημένα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (λιγνιτικά κέντρα, θερμικές μονάδες παραγωγής, συγκροτήματα υδροηλεκτρικών κ.λπ.)	18	23	21	25
Εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή ηλεκτρισμού (χιλ. τόνοι) Scope 1	17.579	12.933	23.151	15.529
Αγορές δικαιωμάτων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (CO ₂) (εκατ. €) ¹	412	328	546	393

Σημείωση: Τα στοιχεία Ομίλου αφορούν τις εταιρείες ΔΕΗ, Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε..

1. Αφορά εκπομπές από εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών.

33%
μείωση των
εκπομπών CO₂
από την παραγωγή
ηλεκτρισμού (Όμιλος ΔΕΗ)



ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020



ΡΥΠΟΙ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2019 (Τ) ΔΕΗ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (Τ) ΔΕΗ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (Τ) ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ Α.Ε.	ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2020 (Τ) ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ ΜΕΛΙΤΗΣ Α.Ε.
Οξείδια του θείου (SO _x)	26.200 (29.800)	19.391	626	426
Οξείδια του αζώτου (NO _x)	36.900 (39.300)	30.423	526	274
Σωματιδιακές εκπομπές (PM)	1.630 (1.710)	994	17,9	4,96
Pb	1,35 (1,44)	0,916	0,002	0,047
Ni	5,20 (5,37)	5,360	0,014	0,064
Cu	2,31 (2,38)	0,951	0,003	0,042
Cr(tot)	2,58 (2,81)	1,242	0,006	0,114
Zn	3,91 (4,57)	2,330	0,012	0,372
Cd	0,160 (0,180)	0,099	0,000	0,011
Hg	0,283 (0,614)	0,171	0,123	0,011
As	0,617 (0,639)	0,305	0,001	0,010

ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020



ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ

Κατηγορία πρωτογενούς πηγής ενέργειας	Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2019 (GWh)*	Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2019 (GWh) και με συμμετοχή**	Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2020 (GWh)*	Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2020 (GWh) και με συμμετοχή**
Αιολική	125 (48,3%)	179 (51%)	158 (53%)	199 (54%)
Ηλιακή	2 (0,8%)	2 (0,7%)	2 (0,7%)	2 (0,5%)
Υδροηλεκτρική (ΜΥΗΣ)	131 (50,6%)	169 (48%)	136 (45,6%)	166 (45%)
Υβριδική	1 (0,4%)	1 (0,3%)	2 (0,7%)	2 (0,5%)
Συνολικά	259	351	298	369

* Η καθαρή παραγωγή αφορά αμιγώς τη ΔΕΗ Ανανεώσιμες, χωρίς την παραγωγή ενέργειας σε συγγενείς επιχειρήσεις, στις οποίες η ΔΕΗ Ανανεώσιμες κατέχει μειοψηφική συμμετοχή.

** Η καθαρή παραγωγή αφορά τη ΔΕΗ Ανανεώσιμες μαζί με την παραγωγή ενέργειας της Εταιρείας και σε συγγενείς επιχειρήσεις, στις οποίες η ΔΕΗ Ανανεώσιμες κατέχει μειοψηφική συμμετοχή.

Συνοπτικά



- Κινητές πηγές - Καταλυτικός μετατροπέας
- Στατικές Πηγές
- Απορρόφηση και Είδη Απορροφητών
- Προσρόφηση
- Φυσικές ιδιότητες προσροφητών και Είδη Προσροφητών
- Απομάκρυνση VOCs από απαέρια
- Αναγέννηση στήλης προσρόφησης
- Ρύπανση από βιομηχανικές διεργασίες
- Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων
- Κατανομή μεγέθους σωματιδίων
- Μηχανικοί και Βαρυτικοί συλλέκτες
- Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία και Κυκλώνες
- Καύση απαερίων - Κινητική καύσης αερίων
- Σακκόφιλτρα, Εκπλυτές (υγρά φίλτρα), Ηλεκτροστατικά φίλτρα
- ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2020

Ερωτήσεις - Συζήτηση

