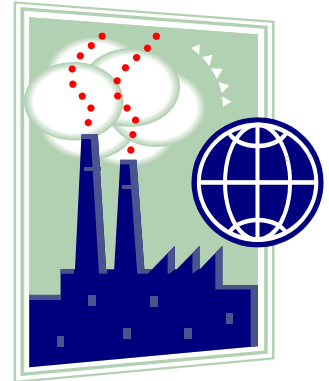


# Μηχανική Περιβάλλοντος

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

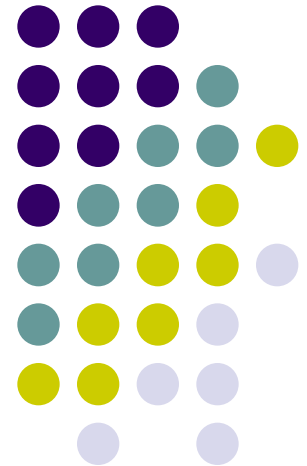
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



---

## Τεχνολογίες Αντιρύπανσης &

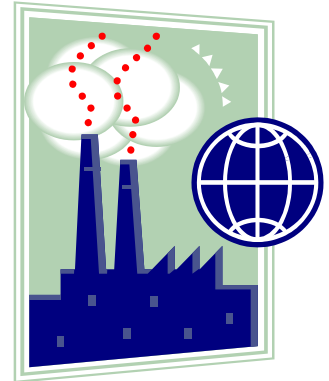
## Αντιρυπαντική Τεχνολογία



# Μηχανική Περιβάλλοντος

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



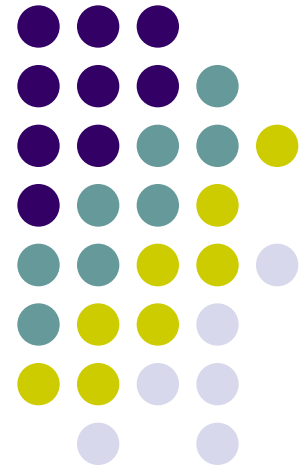
## Ενότητα 1

Τεχνολογίες καταστροφής αερίων ρύπων

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

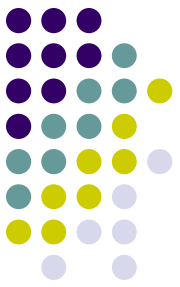
Αντιρυπαντικές τεχνολογίες : Τεχνολογίες που αναπτύσσονται για την αποφυγή «στη γέννησή τους» της δημιουργίας ρύπων

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



# Κινητές πηγές

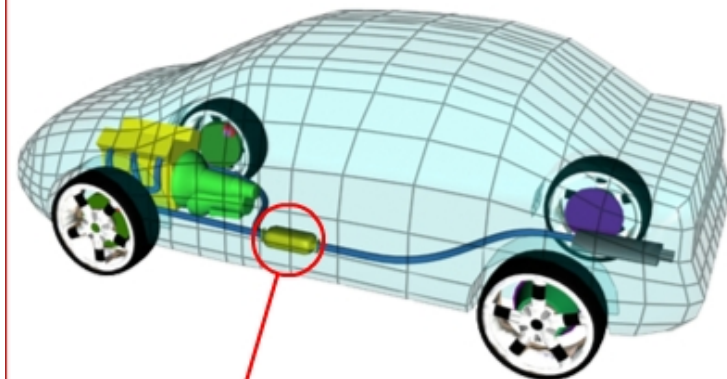
## Καταλυτικός μετατροπέας



- 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  $\text{NO}_x$ :
    - $\text{NO} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{N}_2 (+\text{N}_2\text{O})$
    - $(2x+y/2) \text{NO} + \text{C}_x\text{H}_y \rightarrow x\text{CO}_2 + (x+y/4)\text{N}_2 + (y/2)\text{H}_2\text{O} (+\text{N}_2\text{O})$

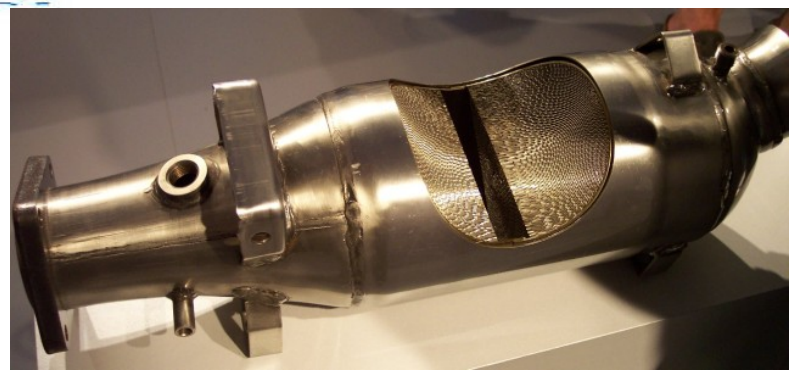
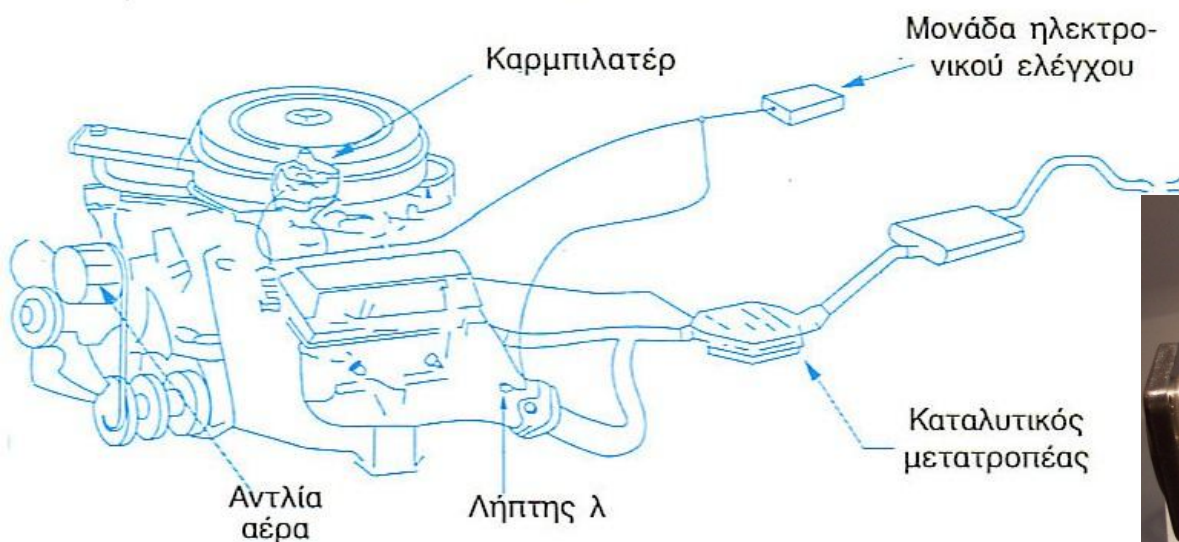
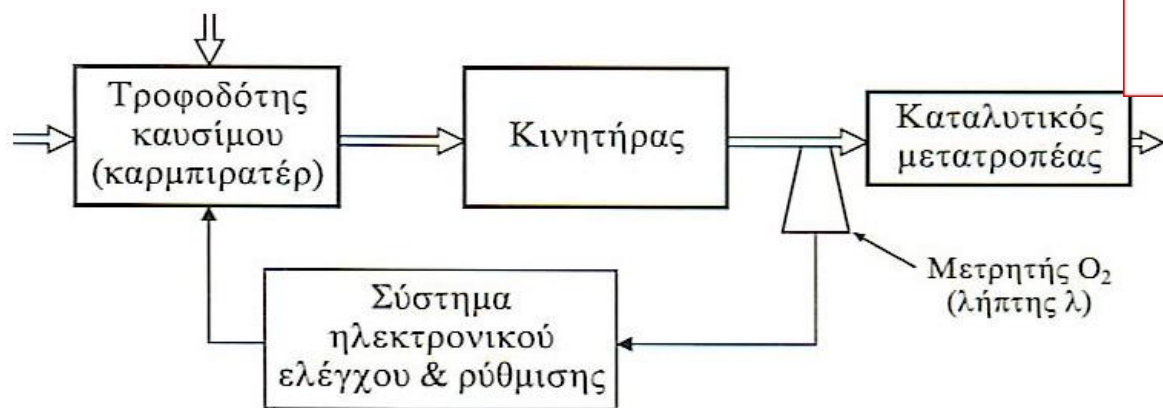
# Καταλυτικός μετατροπέας

How Catalytic Converters Work

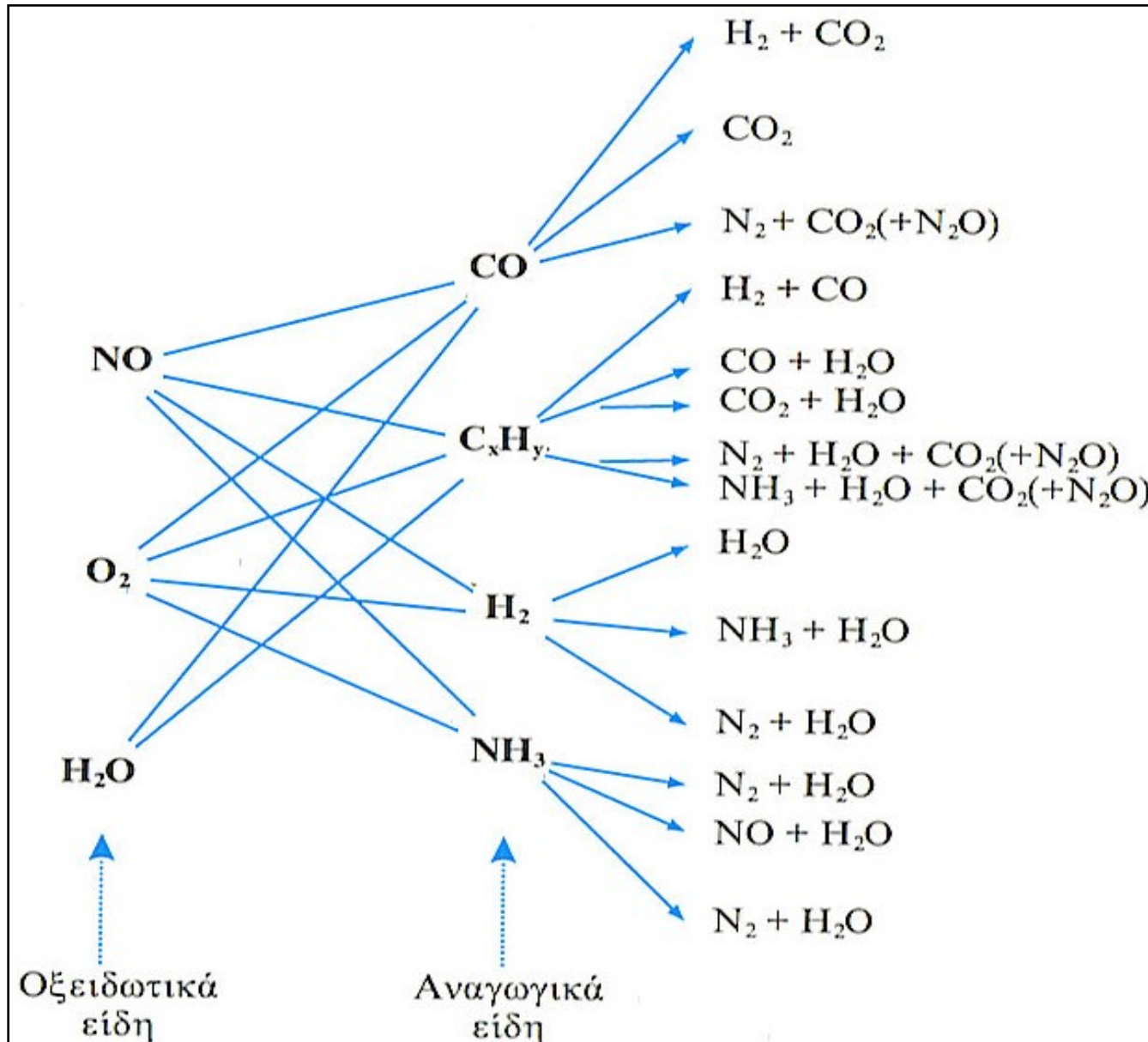


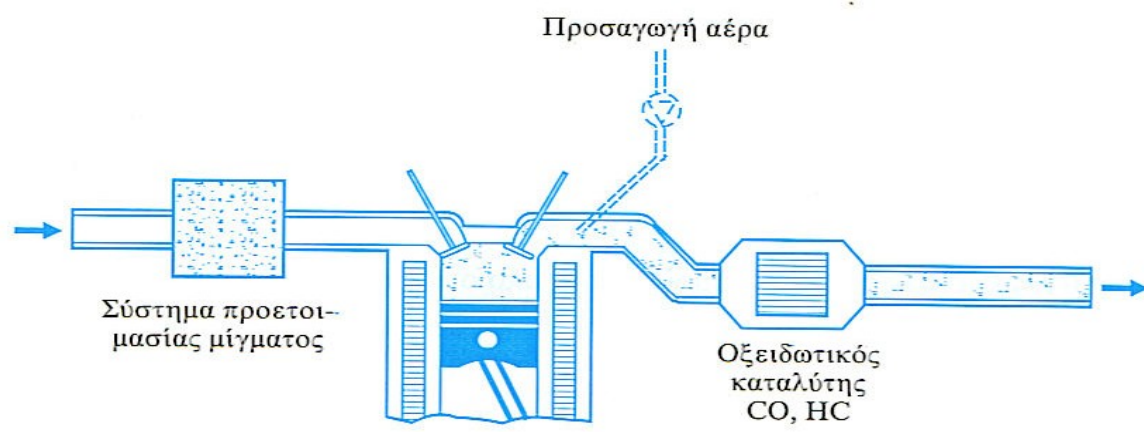
Catalytic Converter

© 2000 How Stuff Works

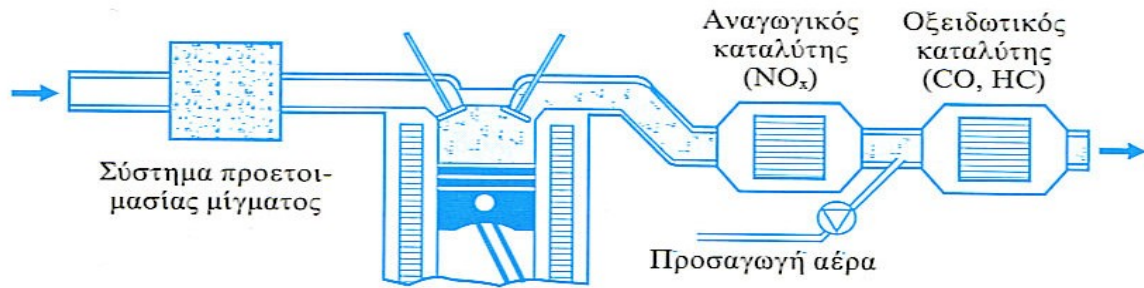


# Πιθανές χημικές αντιδράσεις σε καταλυτικό μετατροπέα

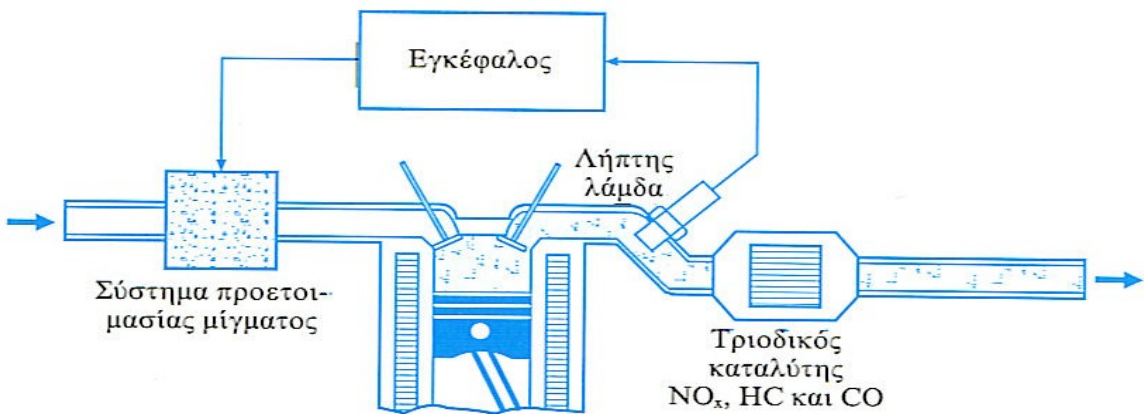




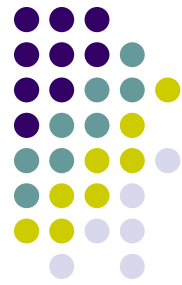
(α) Οξειδωτικός καταλύτης



(β) Καταλύτης διπλής κλίνης

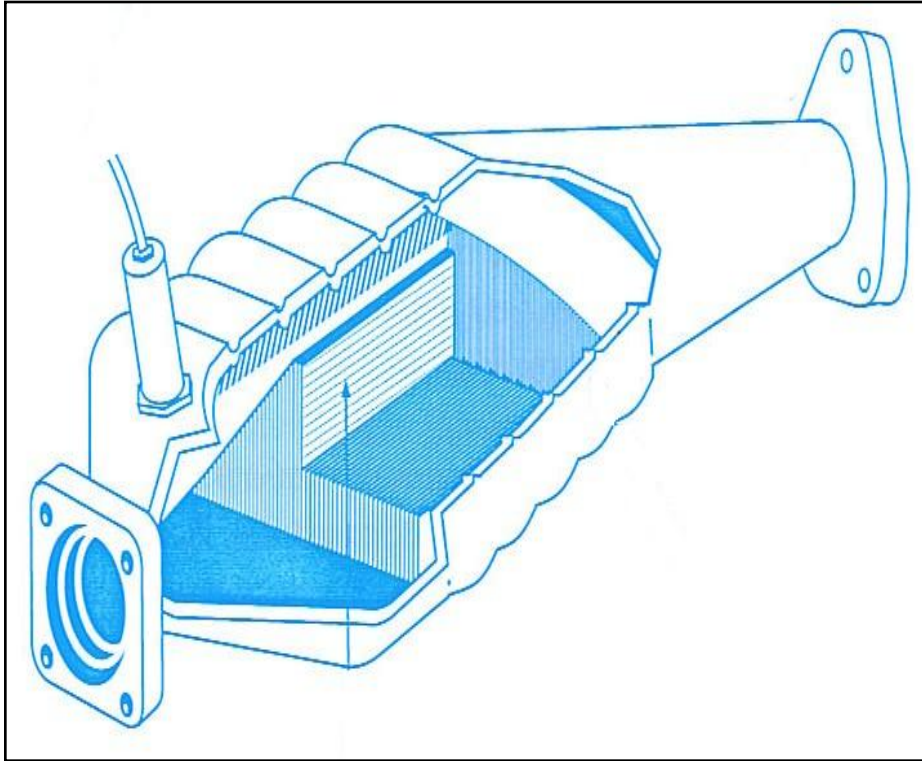
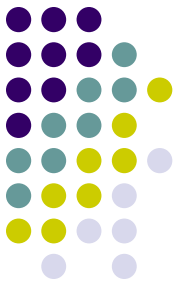


(γ) Τριοδικός καταλύτης



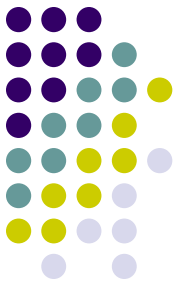
## Οι 3 τύποι καταλυτικών μετατροπέων

# 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 ( $\lambda$ ), (αισθητήρας  $\text{O}_2$  ηλεκτροχημικού τύπου που ελέγχει συνεχώς της συγκέντρωση  $\text{O}_2$  στα καυσαέρια και ρυθμίζει αυτόματα την αναλογία καύσιμου-αέρα στο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα

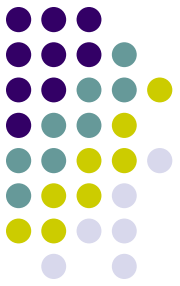
# Χαρακτηριστικά κατασκευής και συνθηκών λειτουργίας του τριοδικού καταλυτικού μετατροπέα



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	
ΦΟΡΕΑΣ	Μονόλιθος κορδιερίτη (~400 κανάλια/in <sup>2</sup> , πάχος τοιχώματος ~0.15mm)
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ (wash coat)	γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (+πρόσθετα: CeO <sub>2</sub> , BaO, La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 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 <sup>-1</sup>
ΚΥΒΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ / ΟΓΚΟ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	0.8-1.5
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΡΥΠΩΝ	Σε λ=0.99±0.06: HC <sub>s</sub> >80%, CO & NO>70%



# Ευγενή μέταλλα τριοδικών καταλυτών



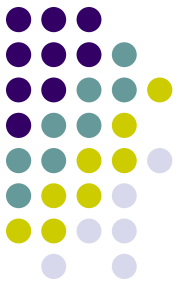
- **Λευκόχρυσος (Pt)**

- Πολύ καλός καταλύτης οξείδωσης του CO και των HCs
- Εμφανίζει ασήμαντη δραστικότητα και χαμηλή  $N_2/N_2O$  εκλεκτικότητα για τις αντιδράσεις αναγωγής των  $NO_x$

- **Παλλάδιο (Pd)**

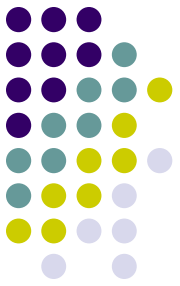
- Καλός καταλύτης οξείδωσης του CO και των HCs
- Καλύτερη αναγωγική δράση από τον Pt, αλλά όχι επαρκής
- Φθηνότερο από τα άλλα ευγενή μέταλλα

# Ευγενή μέταλλα τριοδικών καταλυτών

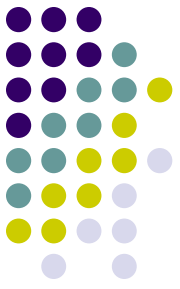


- **Ρόδιο (Rh)**
  - Ισχυρή αναγωγική δραστικότητα (ολοκληρωτική διασπαστική ρόφηση του NO)
  - Πολύ σπανιότερο σε σχέση με το Pt, Pd → πολύ ακριβότερο
  - Επιθυμητή η μείωση της χρήσης τους (Rh/Pt=1/5 στον καταλυτικό μετατροπέα, Rh/Pt=1/15 στη φύση)
- **Άλλα ευγενή μέταλλα**
  - **Ιρίδιο (Ir)**
    - Καλύτερος καταλύτης για την αναγωγή του NO σε N<sub>2</sub> σε οξειδωτικά περιβάλλοντα
    - Σπανιότητα, σχηματισμός πτητικών οξειδίων και εξαφάνισή του από τον μετατροπέα → απαγορευτική η χρήση του
  - **Ρουθήνιο (Ru)**
    - Καλός καταλύτης αναγωγής
    - Σχηματισμός πτητικών οξειδίων

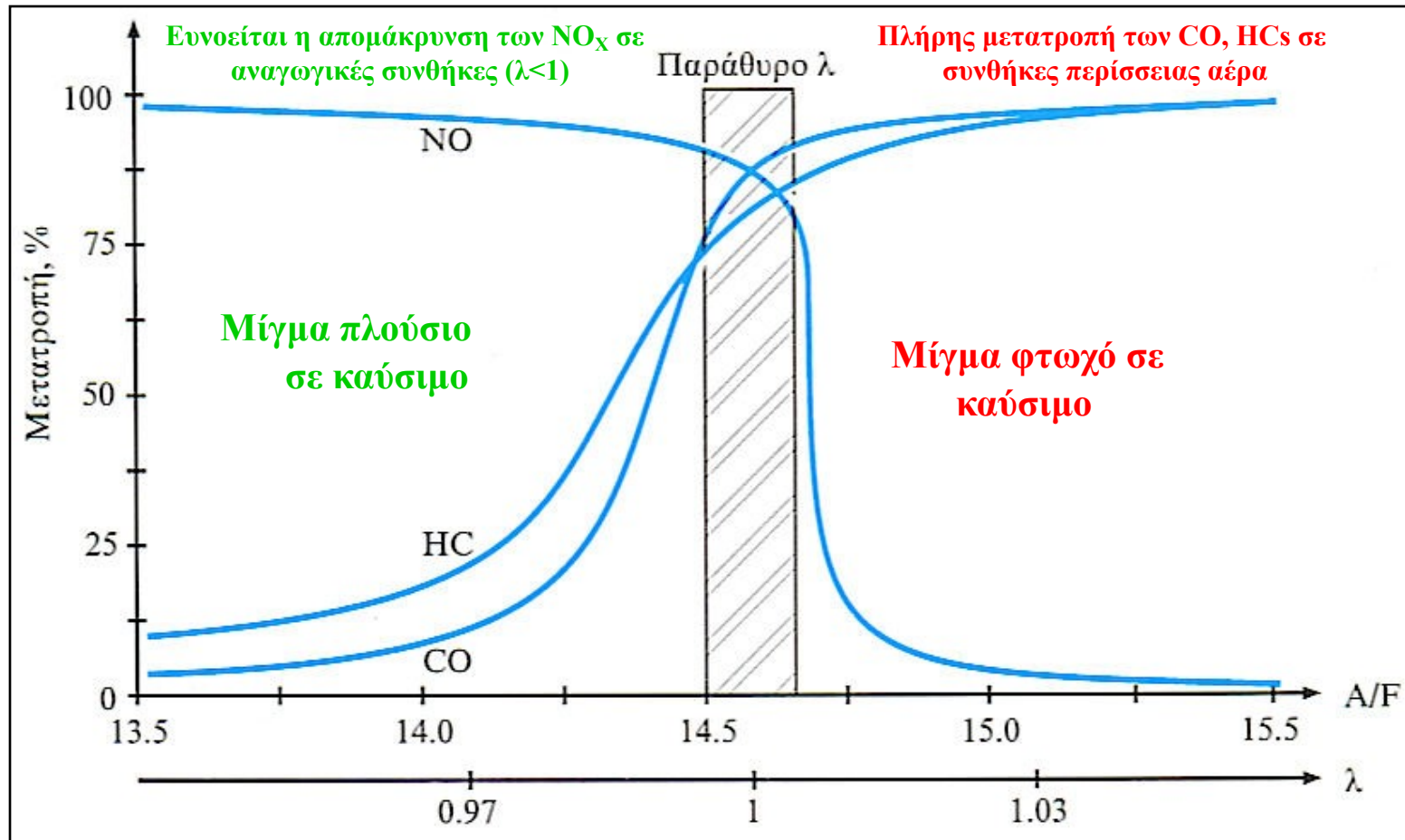
# Ρύθμιση τριοδικών καταλυτών



- Τριοδικός καταλύτης + λήπτης λάμδα ( $\lambda$ ) + ηλεκτρονικό σύστημα  $\rightarrow$  μίγμα αέρα-καυσίμου σε στοιχειομετρική αναλογία με βάση την τέλεια καύση υδρογονάνθρακα  $C_xH_y$
- $C_xH_y + (x+y/4) O_2 \rightarrow xCO_2 + (y/2) H_2O$
- $(\text{Αέρας/Καύσιμο})_{\text{στοιχ.}} = (A/F)_{\text{στοιχ.}} = 14,7 \rightarrow C_7H_{13} - C_7H_{14}$
- $\lambda = (A/F)/(A/F)_{\text{στοιχ.}}$ 
  - $\lambda > 1$  μίγμα φτωχό σε καύσιμο
  - $\lambda < 1$  μίγμα πλούσιο σε καύσιμο

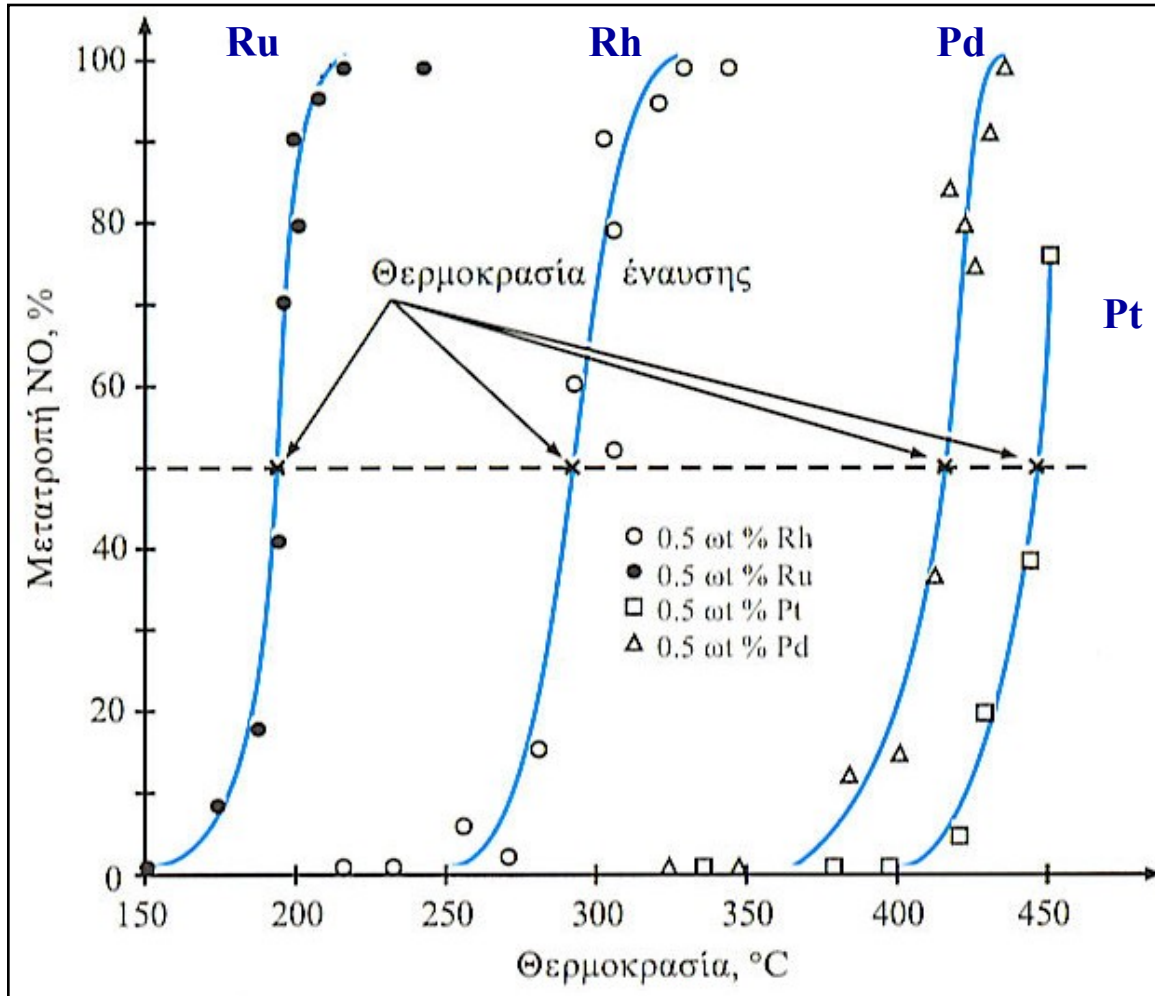
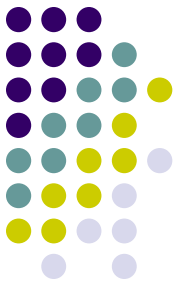


# Ρύθμιση τριοδικών καταλυτών



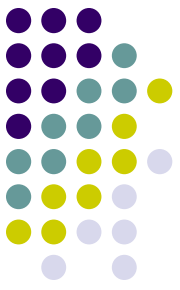
**Σχήμα.** Απόδοση των τριοδικών καταλυτικών μετατροπέων συναρτήσει του λόγου αέρα/καυσίμου – Παράθυρο λ.

# 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:

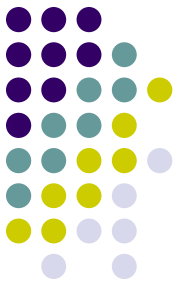
## 1. Εξαιτίας της σταδιακής δηλητηρίασης (απενεργοποίησης) των δραστικών μετάλλων

- 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

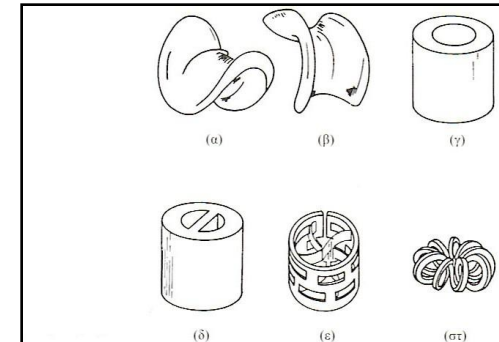
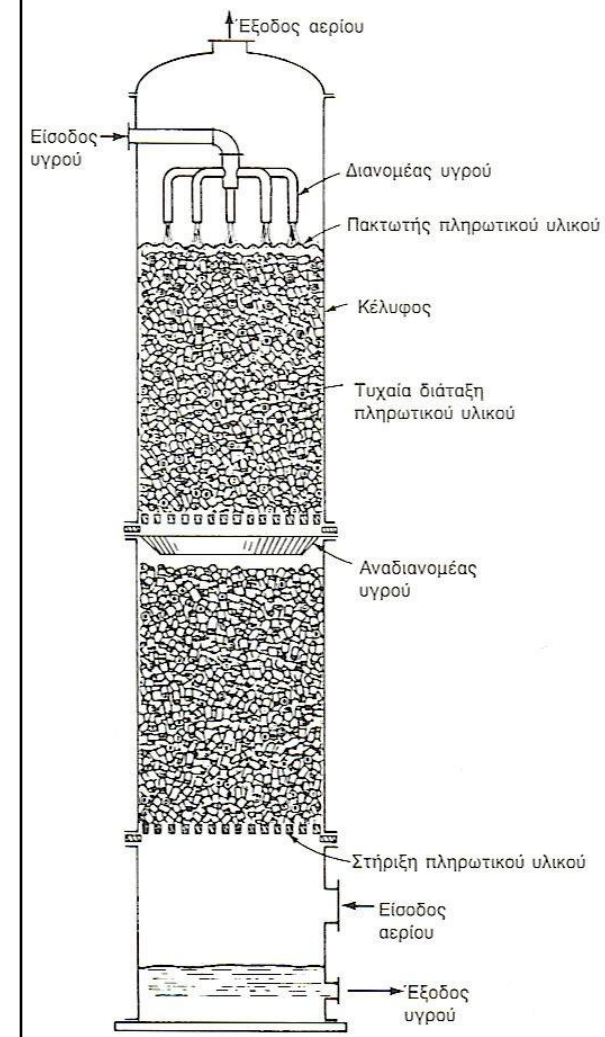


- Κύριες τεχνικές διαχωρισμού και απομάκρυνσης αέριων ρύπων που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία :
  1. Απορρόφηση με υγρά
  2. Προσρόφηση με στερεούς προσροφητές
  3. Συμπύκνωση
  4. Χημική μετατροπή με καυστήρες ή με καταλυτικά φίλτρα

# 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 (βλ. επόμενο σχήμα). 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)

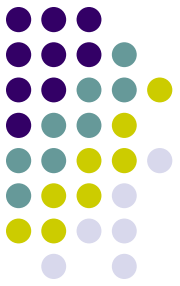
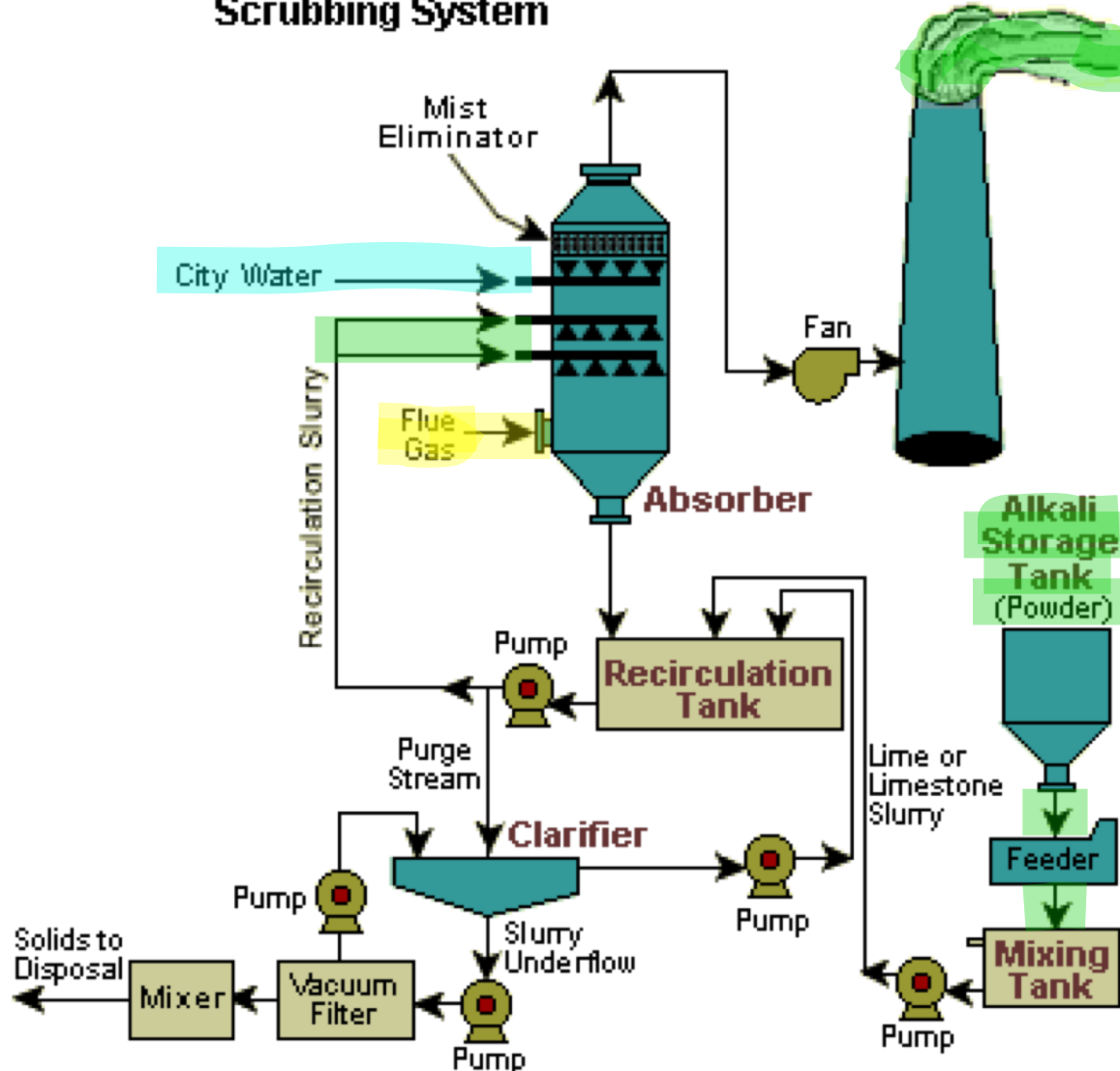


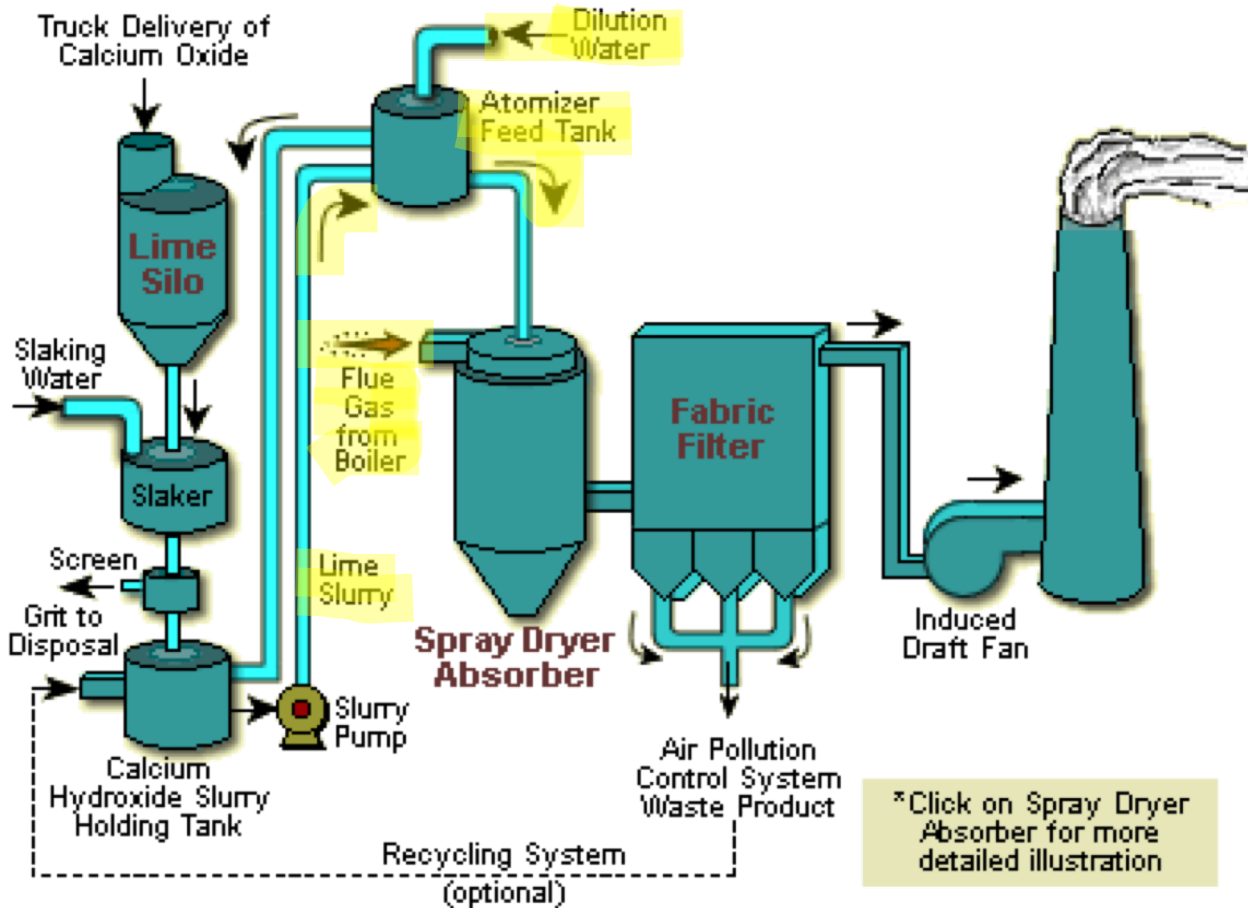
Figure 1. Example Flowchart of a Limestone-Based SO<sub>2</sub> Scrubbing System



# Dry scrubber (Πηγή: US-EPA)

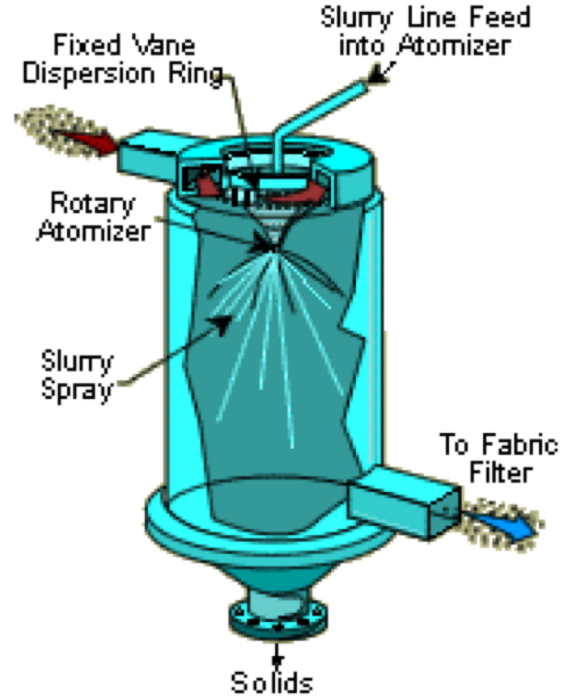


Figure 3. Spray-Dryer-Type Dry Scrubber



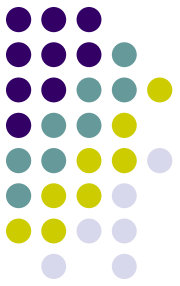
\*Click on Spray Dryer Absorber for more detailed illustration

Figure 2. Spray Atomizer Dry Scrubber



# Προσρόφηση (adsorption)

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



- Με κατάλληλη εκλογή του προσροφητή και 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



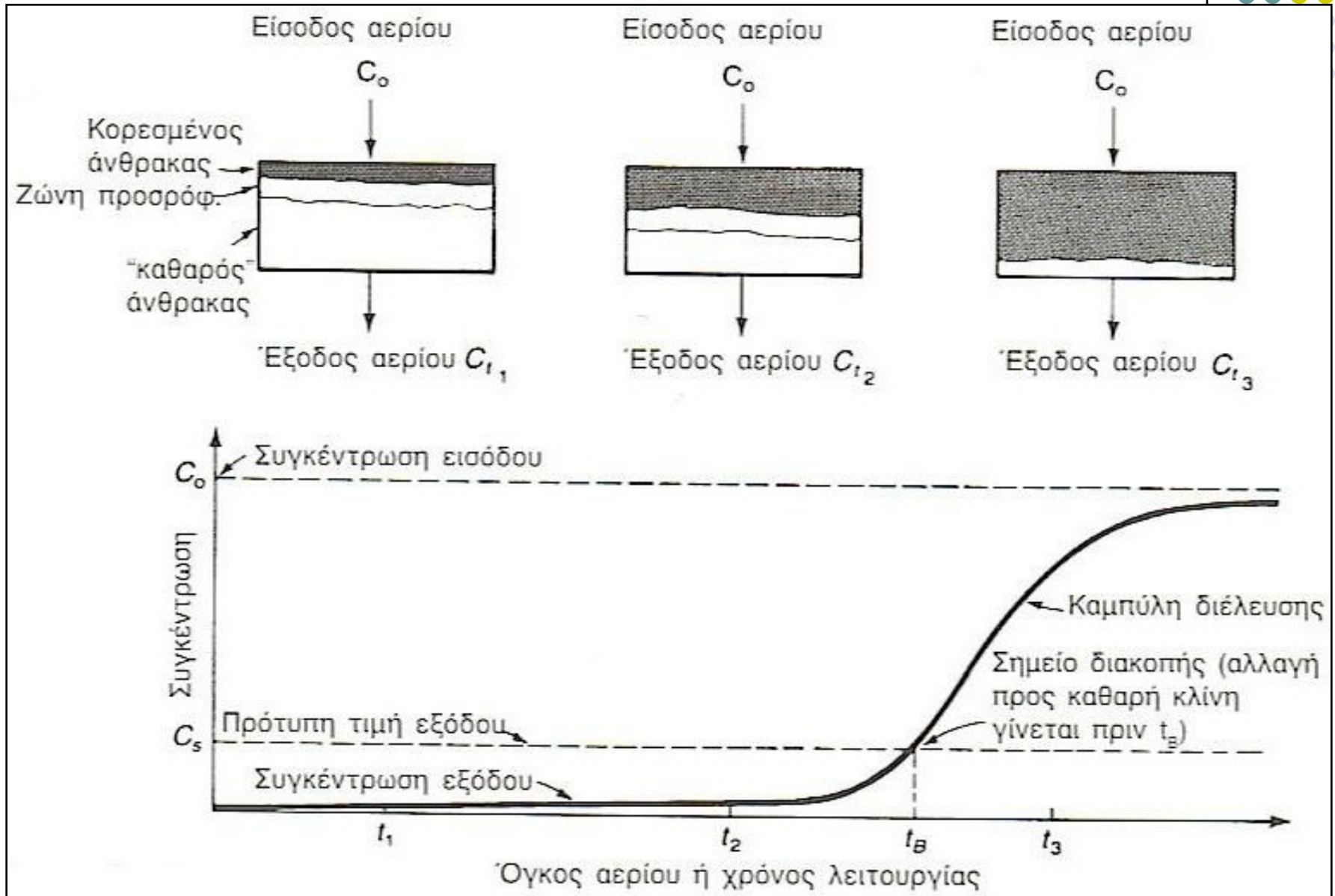
Πίνακας. Φυσικές Ιδιότητες Προσροφητών

Σύσταση	Εσωτερικό Πορώδες %	Εξωτερ. κλάσμα Κενού Όγκου %	Πυκνότητα ξηρού, lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup>	Ειδική Επιφάνεια, m <sup>2</sup> /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

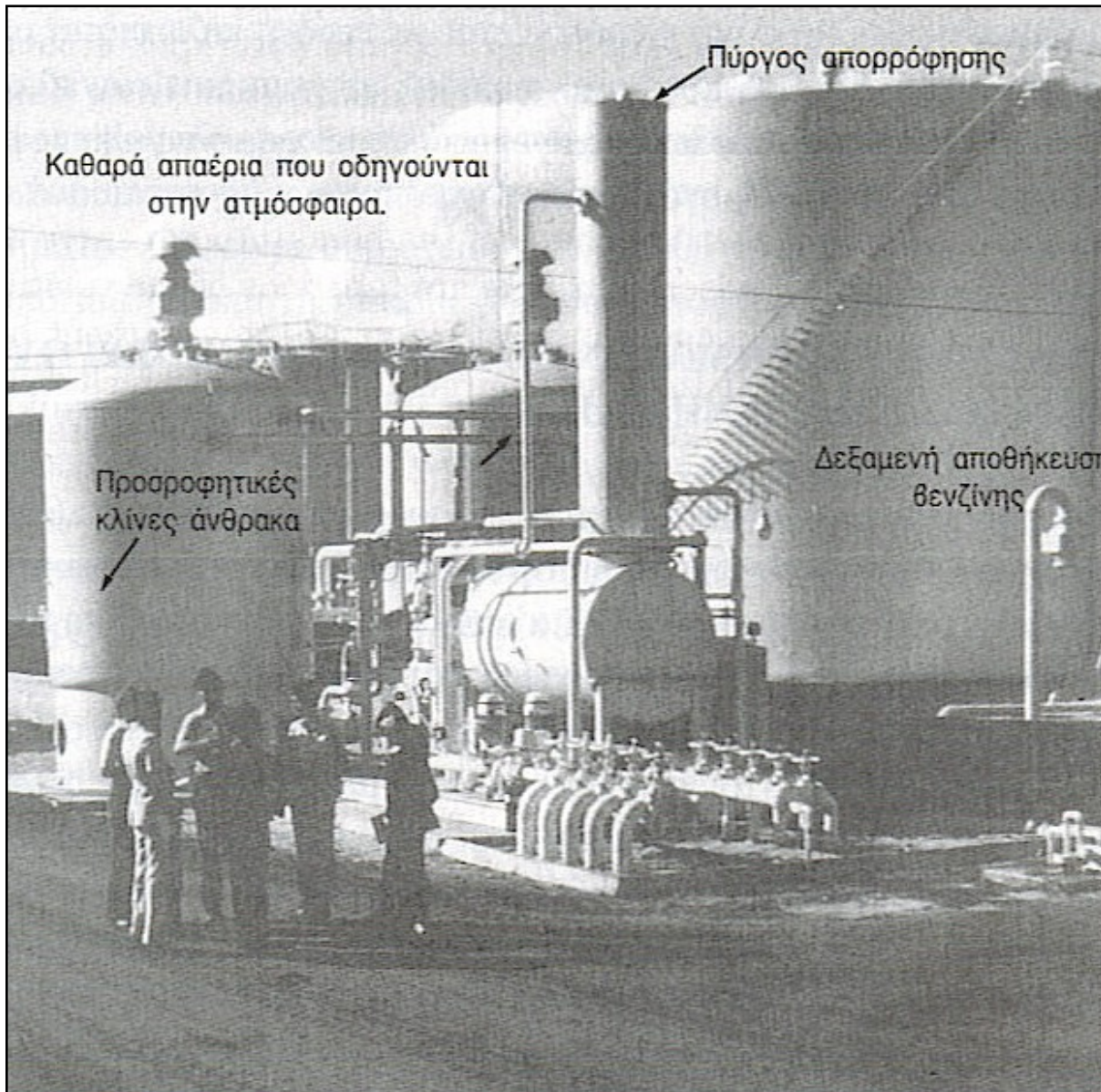
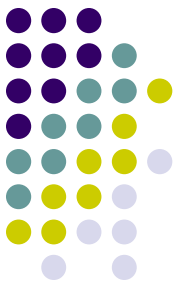
Προσαρμοσμένο από Standen, 1963 (a) και (b).

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

# Κύμα προσρόφησης και καμπύλη διέλευσης



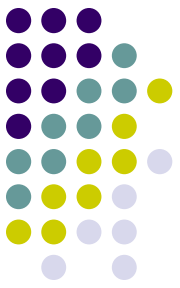
# Προσρόφηση



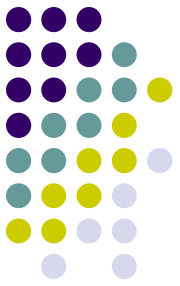
Σύστημα προσρόφησης σε  
τερματικό σταθμό βενζίνης.

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



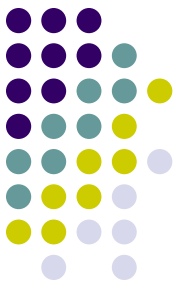
# Συμπύκνωση



- 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



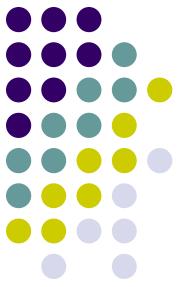
# Χημική μετατροπή ρύπων σε μη ρυπογόνα υλικά



- 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 SO<sub>2</sub>.

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

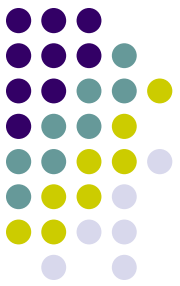
# Ρύπανση από βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων οξέων



**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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	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 <sub>4</sub> , HF	κυκλώνες
	Σωματιδιακή ύλη	έκπλυση ή σακόφιλτρα
Διαμμωνιακά φωσφορικά	F <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub>	κυκλώνες με 30% φωσφορικό οξύ
	σωματιδιακή ύλη	κυκλώνας ακολουθούμενος από φίλτρα
Τριπλά υπερφωσφορικά	SiF <sub>4</sub> , HF	κυκλώνες
Τριπλά υπερφωσφορικά κοκκώδη	SiF <sub>4</sub> , HF, σωματιδιακή ύλη	πολλαπλά φίλτρα

# Ρύπανση από πετροχημικές διεργασίες



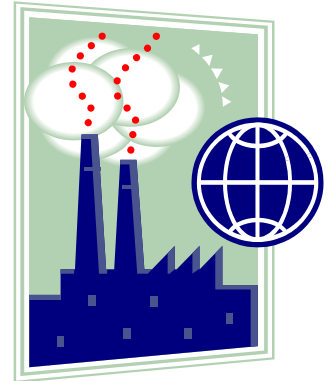
**Πίνακας.** Εκπομπές και έλεγχος ρύπων από πετροχημικές διεργασίες.

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 <sub>2</sub> , CO, σωματιδιακή ύλη	Κυκλώνες και συμπιεσμένα φίλτρα
Ακρυλονιτριλίου	CO, προπυλένιο, προπάνιο, υδροκυάνιο, ακρυλονιτρίλιο, ακετονιτρίλιο, NO <sub>x</sub>	Καυστήρες και καταλυτικά φίλτρα
Επεξεργασίας άνθρακα	H <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Καυστήρας (όχι έλεγχος SO <sub>2</sub> )
	Σωματιδιακή ύλη (άνθρακας)	Σακόφιλτρα
Διχλωρο-αιθυλενίου	CO, CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , αρωματικοί διαλύτες	Καυστήρας ακολουθούμενος από έκπλυση με καυστικά για το υδροχλωρικό οξύ που θα παραχθεί από την καύση

# Μηχανική Περιβάλλοντος

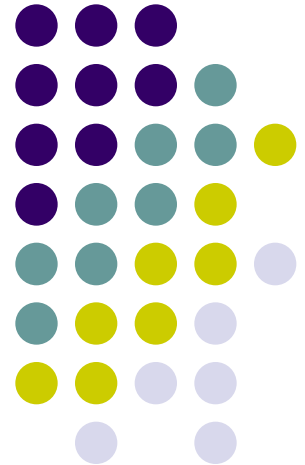
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης



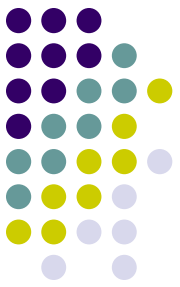
## Ενότητα 2

Τεχνολογίες απομάκρυνσης σωματιδιακών ρύπων





# Γενικά



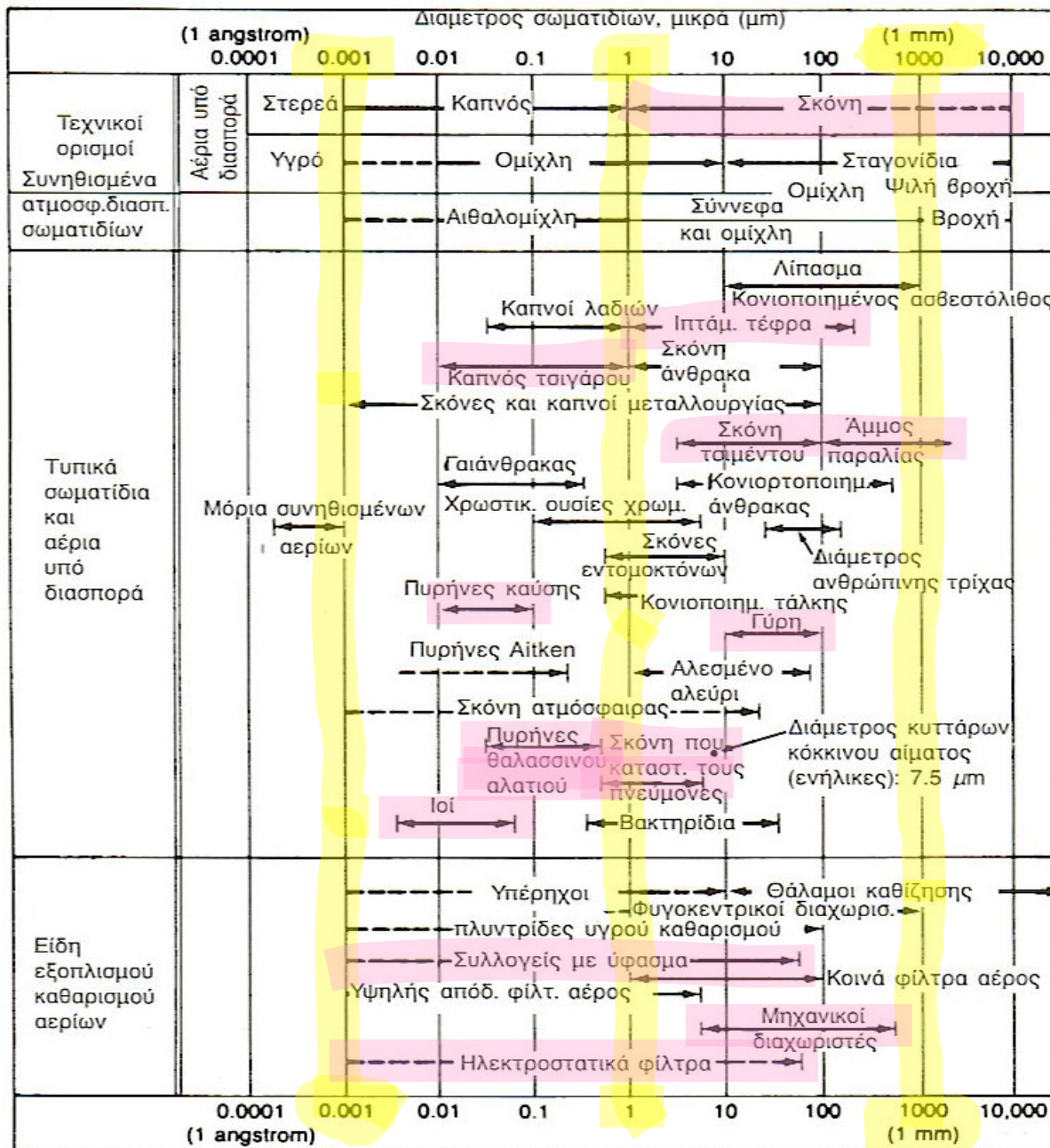
- **Σωματιδιακή ύλη**

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

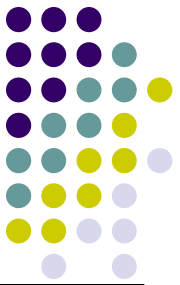
- **Αέριο ρεύμα**

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

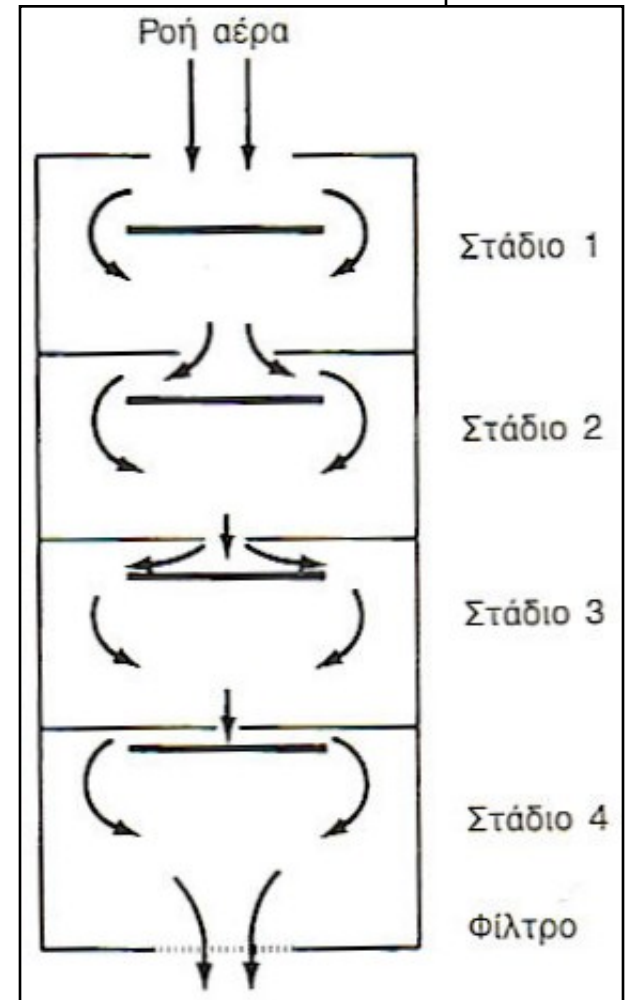
# Κατανομή μεγέθους σωματιδίων



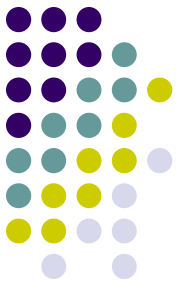
# Κατανομή μεγέθους σωματιδίων



- 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  $\mu\text{m}$ , 100 σωματίδια των 10  $\mu\text{m}$ , 100 σωματίδια των 100  $\mu\text{m}$ .

Μια συσκευή έχει 10% απόδοση στα σωματίδια του 1  $\mu\text{m}$ , 50% απόδοση στα σωματίδια των 10  $\mu\text{m}$ , και 99% απόδοση στα σωματίδια των 100  $\mu\text{m}$ .

Όλα τα σωματίδια έχουν την ίδια πυκνότητα και τα σωματίδια του 1  $\mu\text{m}$  έχουν μοναδιαία μάζα.

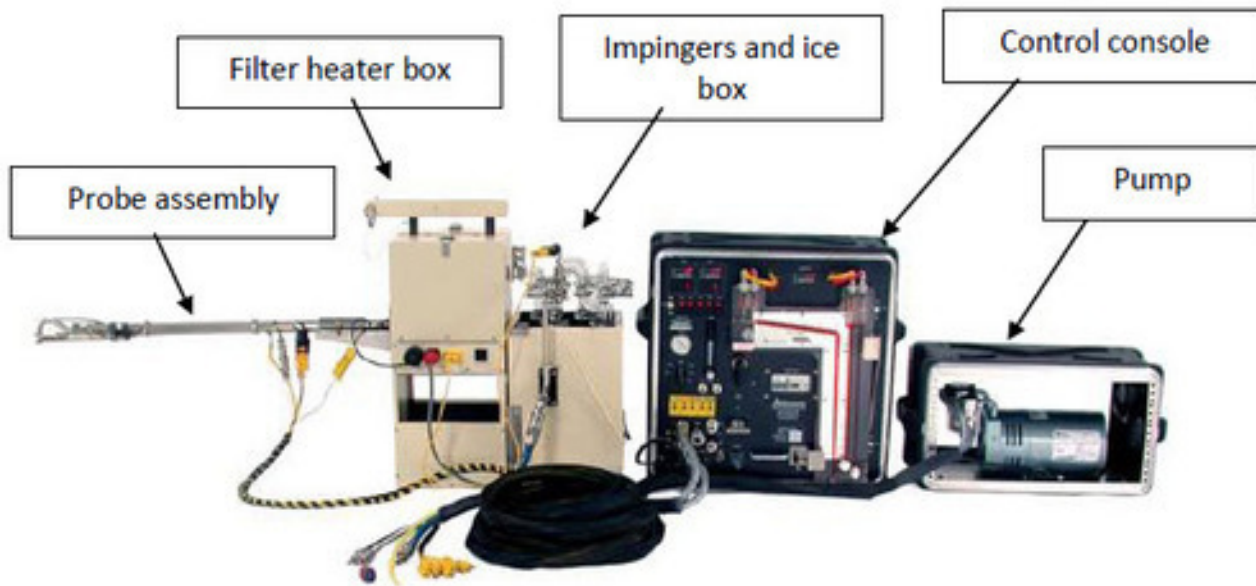
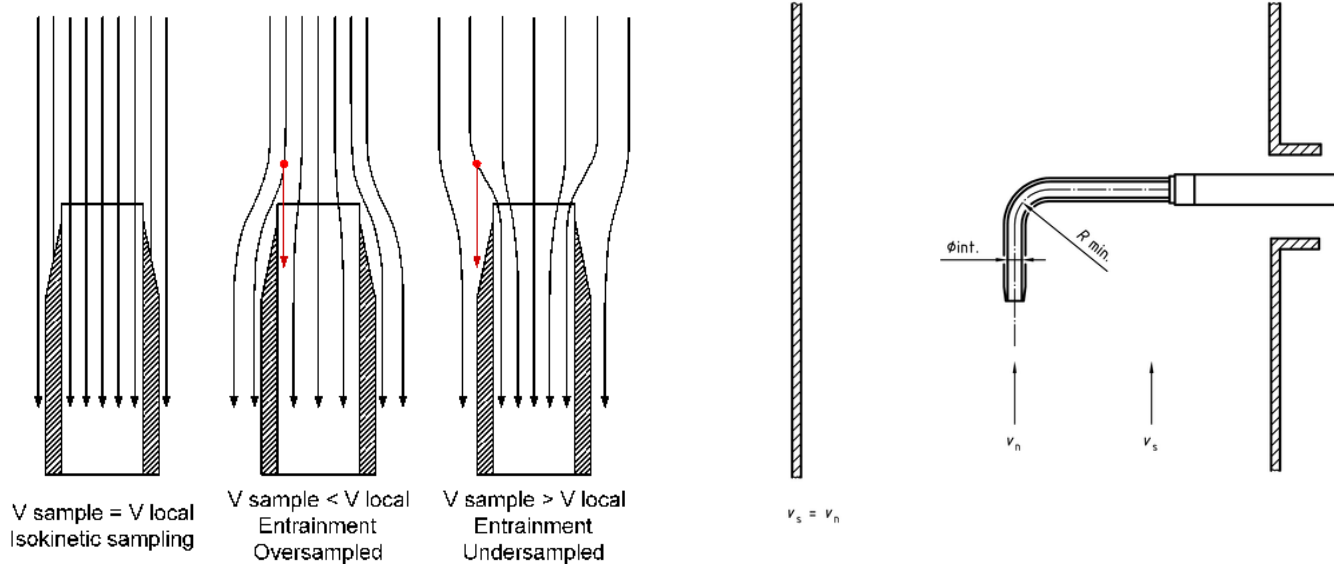
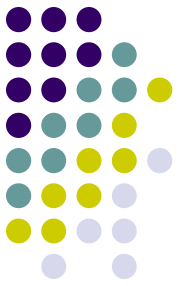
Υπολογίστε τον αριθμητικό βαθμό απόδοσης και την απόδοση συλλογής μάζας.

# Λύση

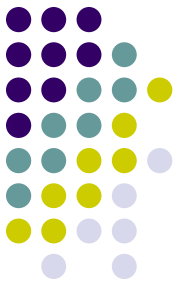


d	n	$m_{\text{ενός}}$	$m_{\text{συνολική}}$	Σωματίδια που συλλέγονται	Μάζα	Σωματίδια που περνούν	Μάζα που περνά
1	100	1	100	10	10	90	90
10	100	1.000	100.000	50	50.000	50	50.000
100	100	1.000.000	100.000.000	99	99.000.000	1	1.000.000
<b>Σύνολο</b>	<b>300</b>		<b>100.100.100</b>	<b>159</b> <b>(53%)</b>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

# Ισοκινητική Δειγματοληψία



# Γενικά



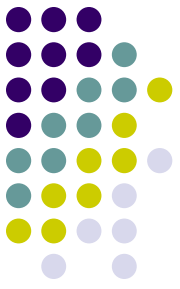
- **Σωματιδιακή ύλη**

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



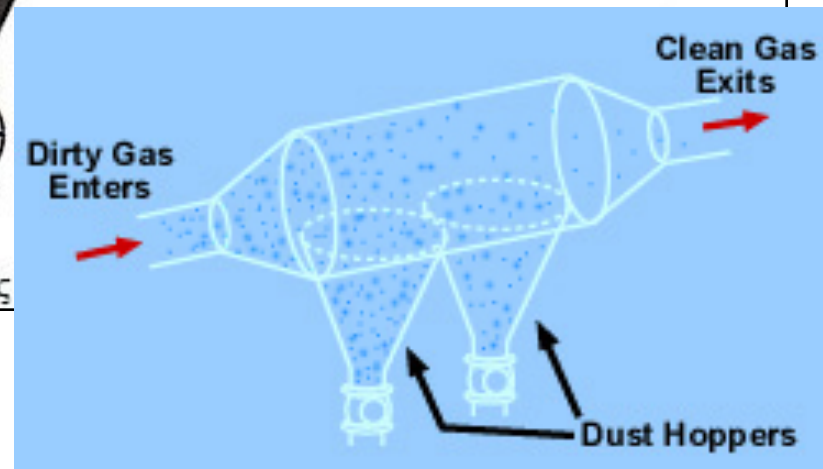
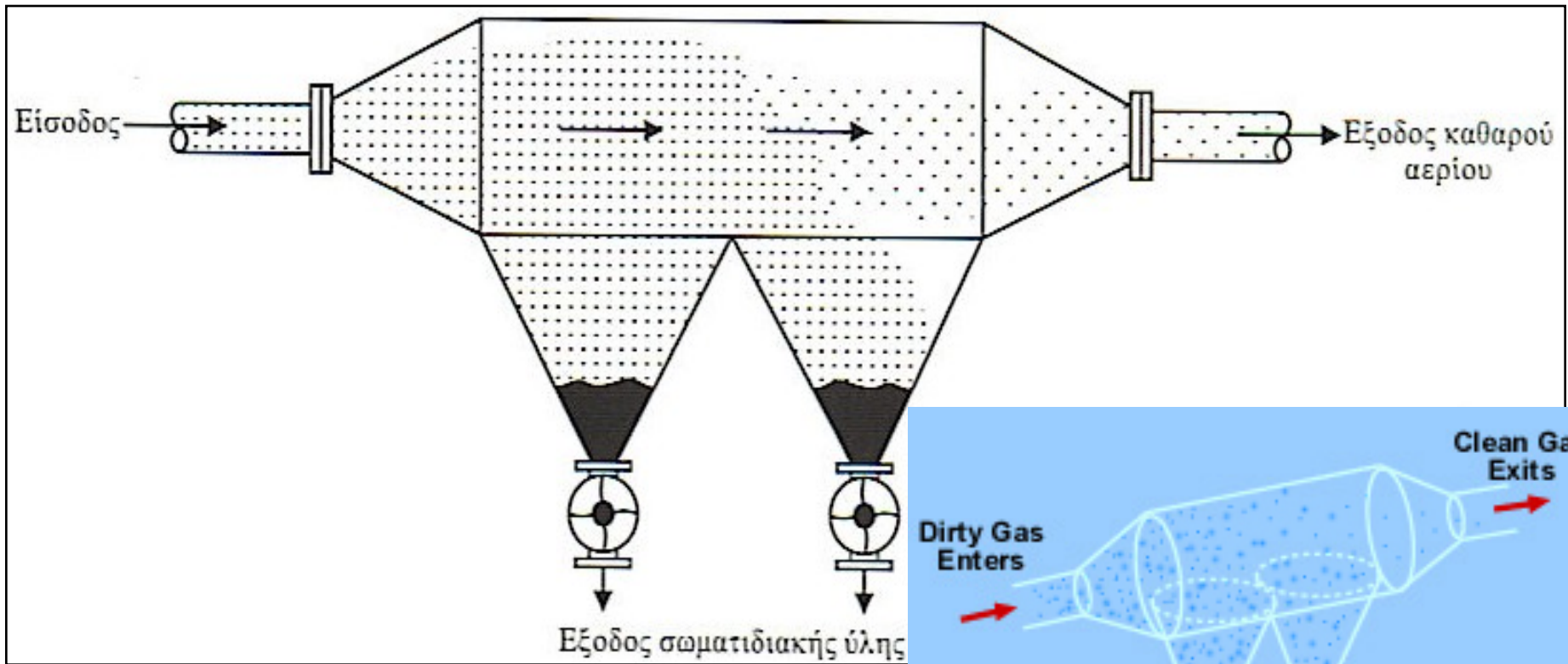
- **Ειδικό βάρος σωματιδιακής ύλης 1.000 – 2.000 μεγαλύτερο του ειδικού βάρους του αερίου που την εμπεριέχει**
- **Τύποι μηχανικών συλλεκτών:**
  - Βαρυτικοί συλλέκτες (Gravity settling chambers)
  - Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία (Recirculating baffle collector)
  - Κυκλώνες υψηλής απόδοσης (High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



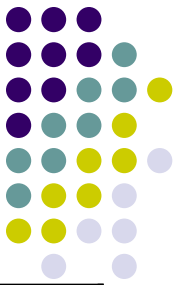
# Βαρυτικοί συλλέκτες



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

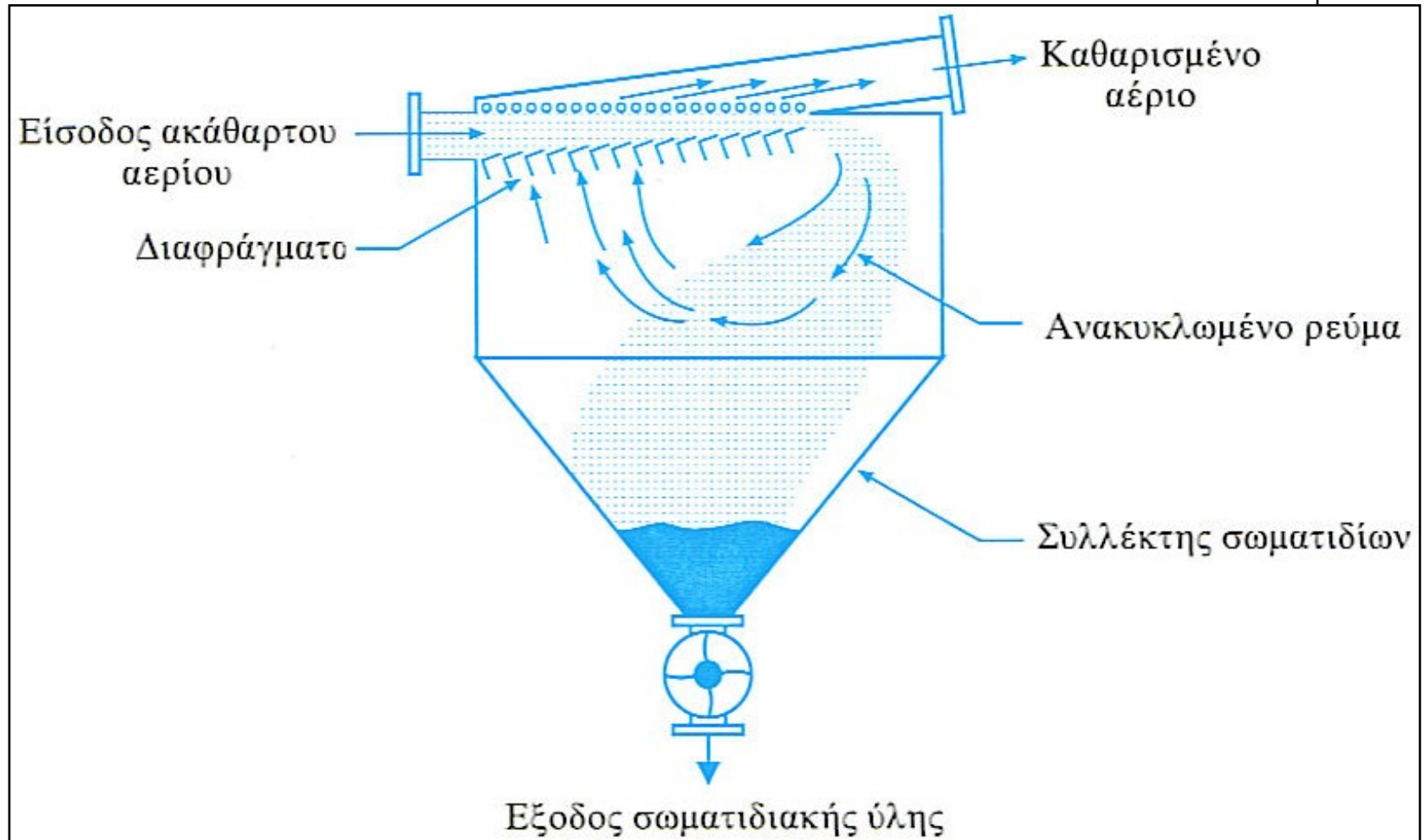
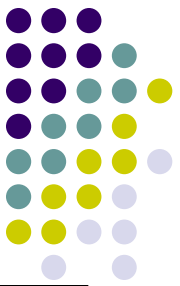


# Βαρυτικοί συλλέκτες

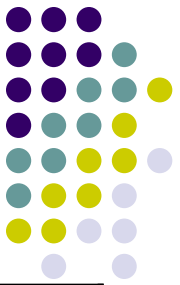


Βασικά Χαρακτηριστικά	
Μέγεθος	Πολύ μεγάλο
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Πολύ χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Πολύ χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Αυξάνει
Απόδοση σε υψηλά φορτία	Μειώνεται
Μειονέκτημα	Χαμηλή απόδοση σε μικρή κοκκομετρία

# Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία

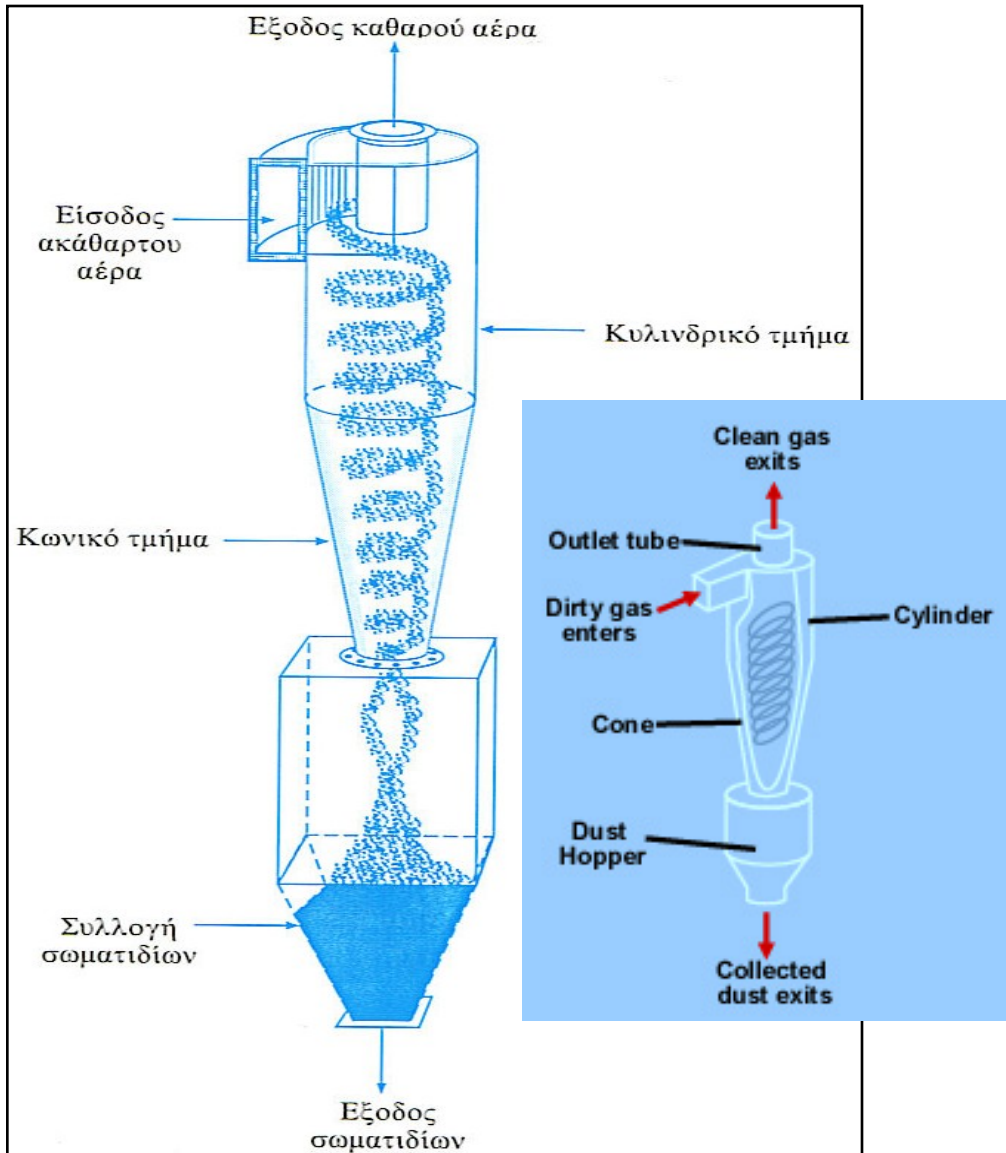
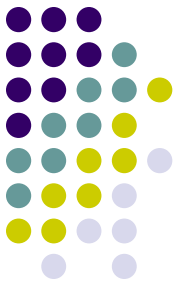


# Συλλέκτες εκτροπής με ανακυκλοφορία



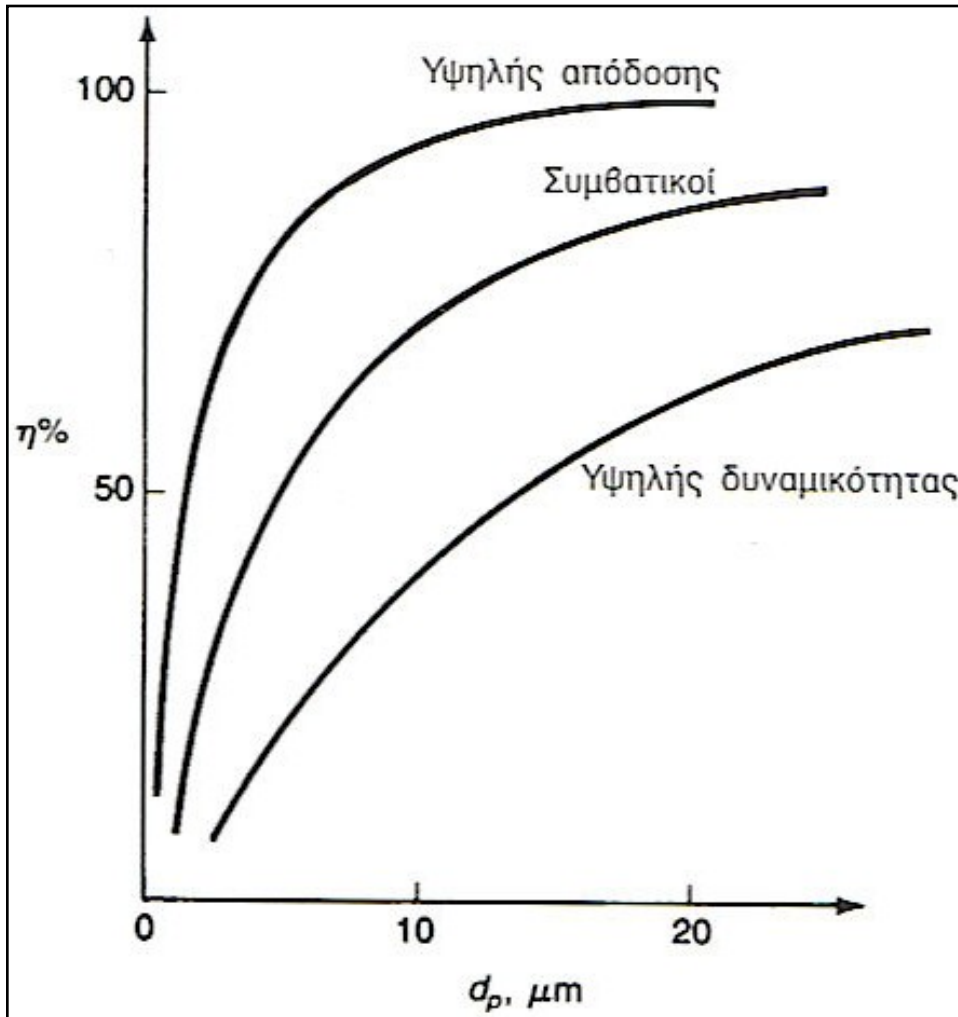
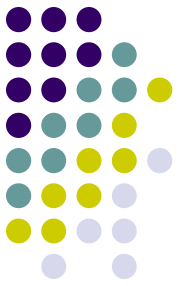
<b>Βασικά Χαρακτηριστικά</b>	
Μέγεθος	Μικρό
Κόστος εγκατάστασης	Χαμηλό
Ενεργειακό κόστος	Χαμηλό
Κόστος συντήρησης	Χαμηλό
Απόδοση	Χαμηλή
Αξιοπιστία	Εξαιρετική
Απόδοση σε χαμηλά φορτία	Μειώνεται
Απόδοση σε υψηλά φορτία	Αυξάνεται ελάχιστα
Μειονέκτημα	Αν και είναι υψηλότερης απόδοσης από το βαρυτικό συλλέκτη,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

# Κυκλώνες



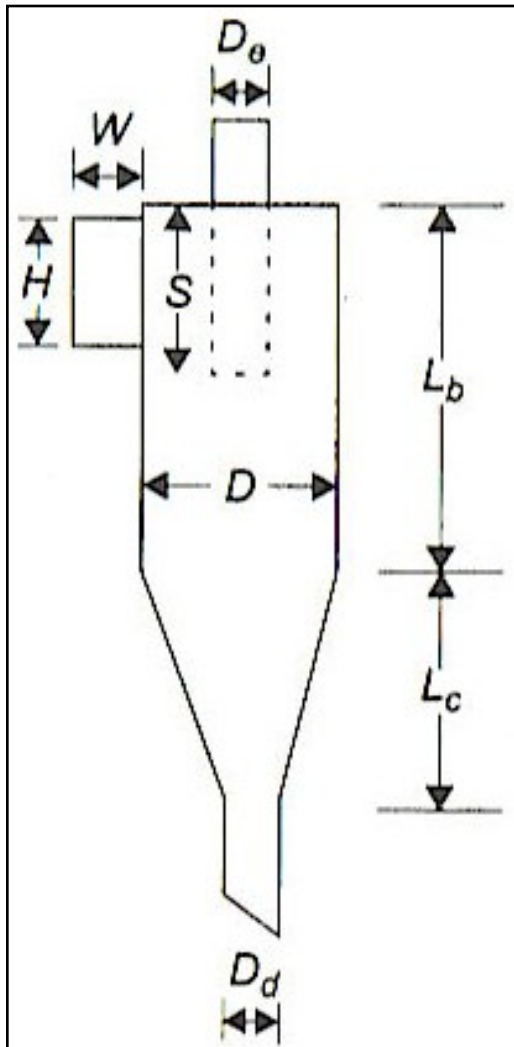
- Μετασχηματισμός της ταχύτητας του ρεύματος εισόδου σε :
  - Μια κατερχόμενη εξωτερική δίνη (κατακράτηση βαρύτερων σωματιδίων με την ανάπτυξη φυγόκεντρου)
  - Μια ανερχόμενη εσωτερική δίνη (καθαρισμένο αέριο ρεύμα)
- Χαρακτηριστικά:
  - Απλότητα
  - Αξιοπιστία
  - Υψηλή απόδοση

# 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<sub>2</sub>O σε ταχύτητες εισόδου 55-80 km/hr) που αυξάνεται όσο αυξάνεται και η απόδοση του συστήματος λόγω της υψηλότερης πτώσης πίεσης

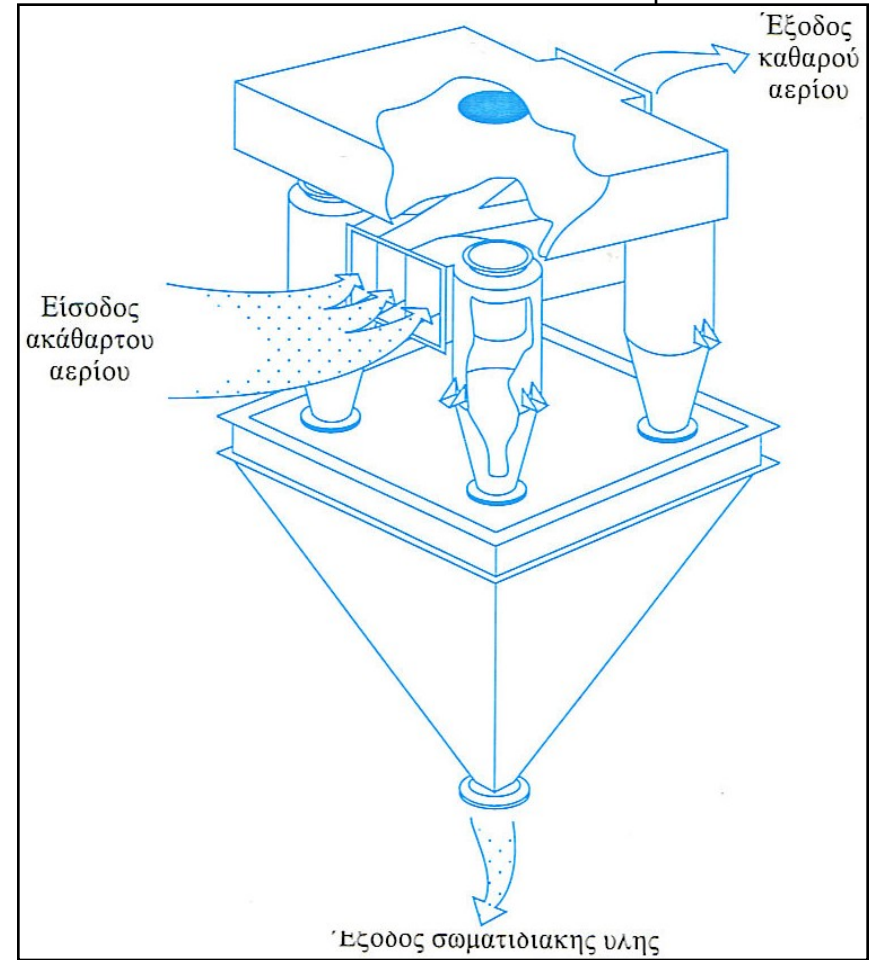
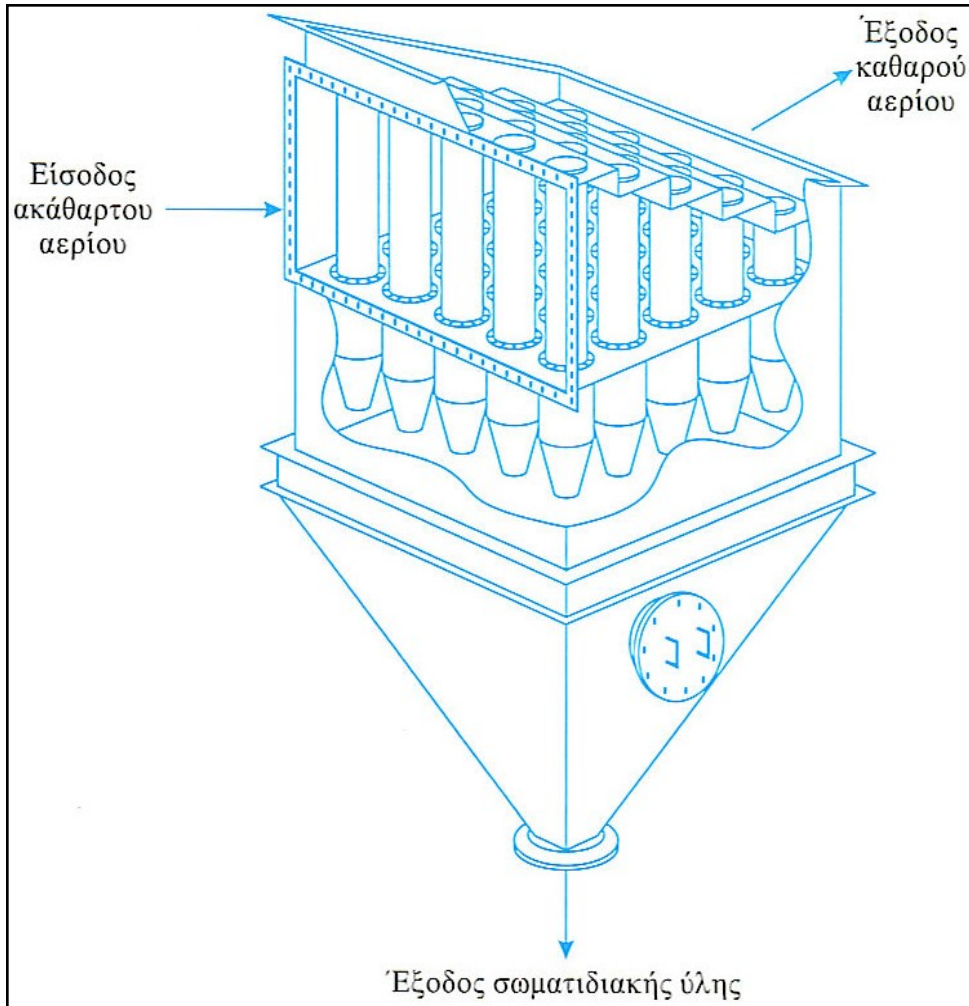
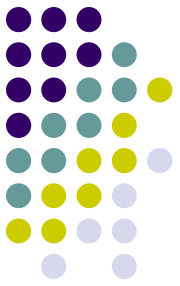
# Κυκλώνες



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 $D_{\theta}/D$	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

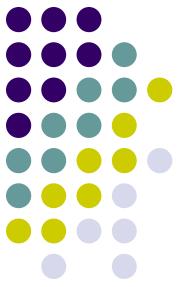




# Συστήματα κυκλώνων

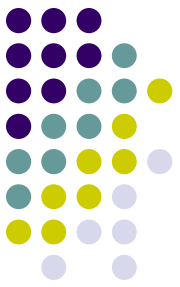


# Εφαρμογή κυκλώνα



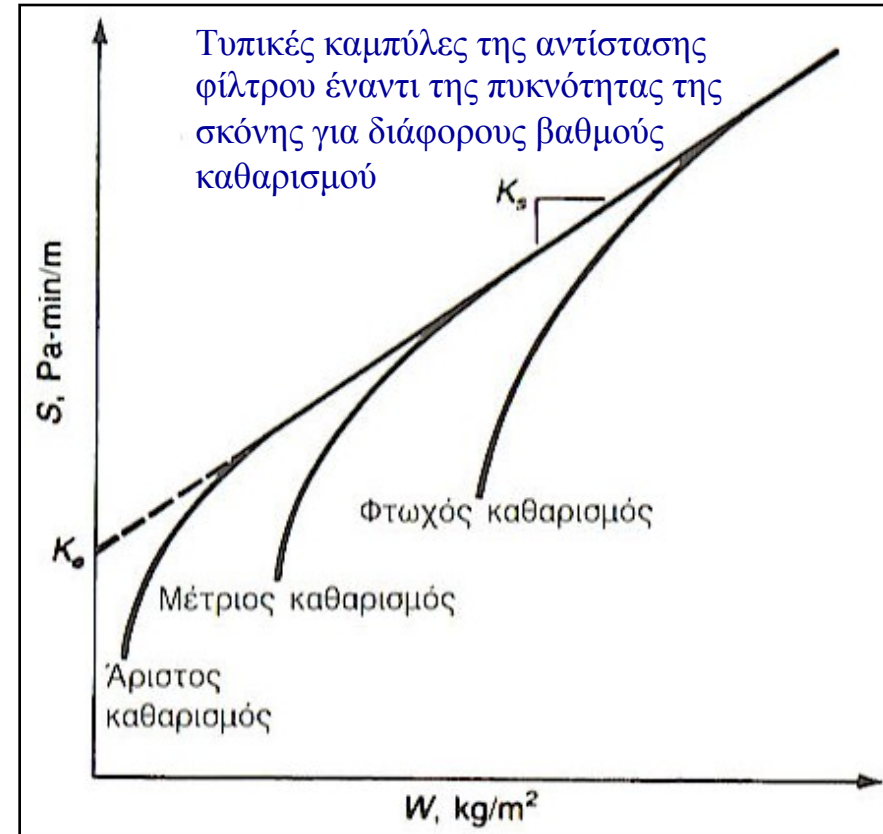
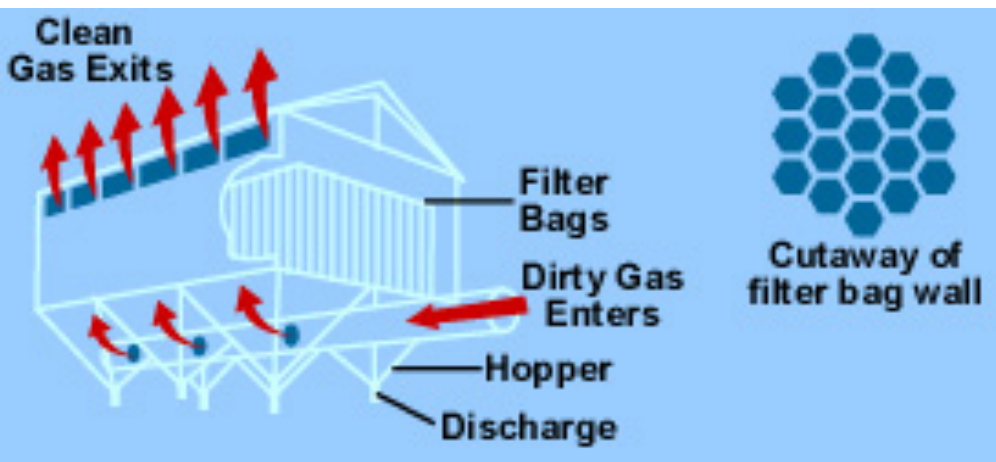
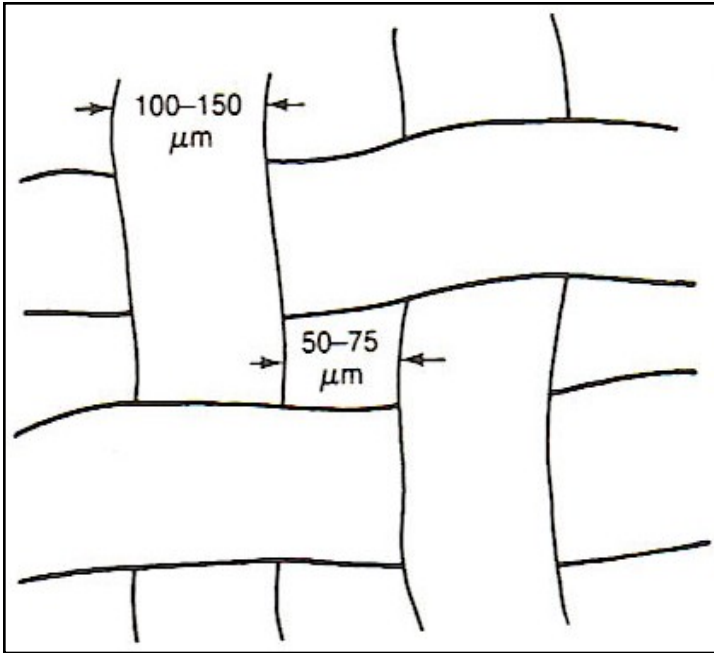
Κυκλώνας για  
αρχικό καθαρισμό  
αέριου ρεύματος  
σε ένα βιομηχανικό  
συγκρότημα

# Σακκόφιλτρα

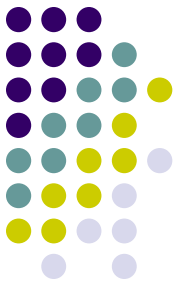


- Φιλτράρισμα με ύφασμα για το διαχωρισμό ξηρών σωματιδίων από ένα ρεύμα αερίου.
- Αρχικά το ύφασμα φιλτράρει τα σωματίδια, δημιουργείται στρώμα σκόνης (κρούστα) το οποίο και είναι υπεύθυνο για το υψηλής απόδοσης φιλτράρισμα των σακκοφίλτρων.
- Τύποι (με βάση τη μέθοδο αυτοκαθαρισμού από τη σκόνη):
  - 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

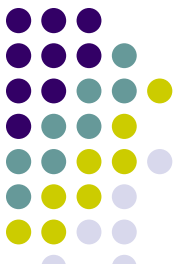


- Η επιλογή του υφάσματος (και του είδους της ύφανσης) είναι σημαντική και βασίζεται στις ιδιότητές του για απελευθέρωση σωματιδίων
- Το κάθε ύφασμα έχει διαφορετικές ιδιότητες όσο αφορά τις θερμοκρασίες λειτουργίας και το χημικό περιεχόμενο του αερίου ρεύματος (βλ. επόμενη διαφάνεια)

## ΑΡΑ

- Το ύφασμα πρέπει να συνδυάζεται σωστά με τα χαρακτηριστικά του αερίου ρεύματος και με το είδος του σωματιδίου

# Σακκόφιλτρα

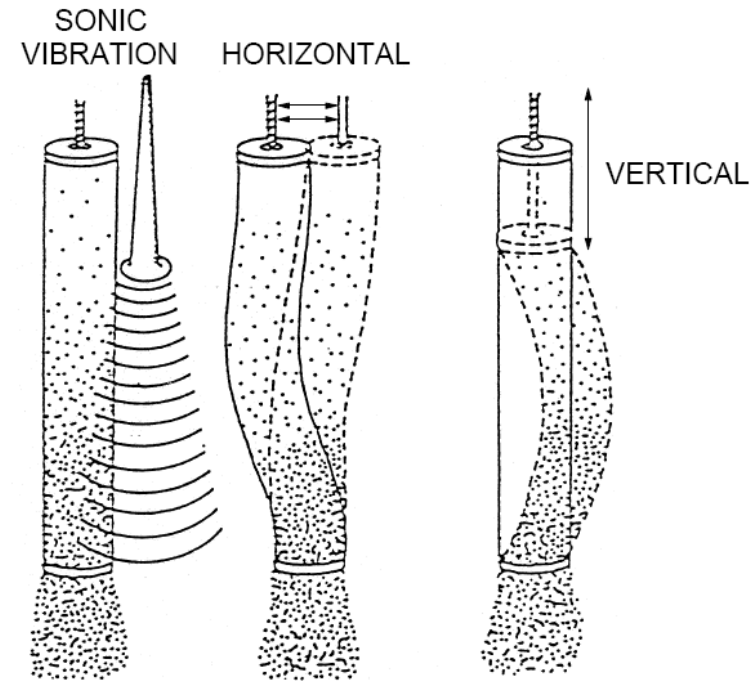
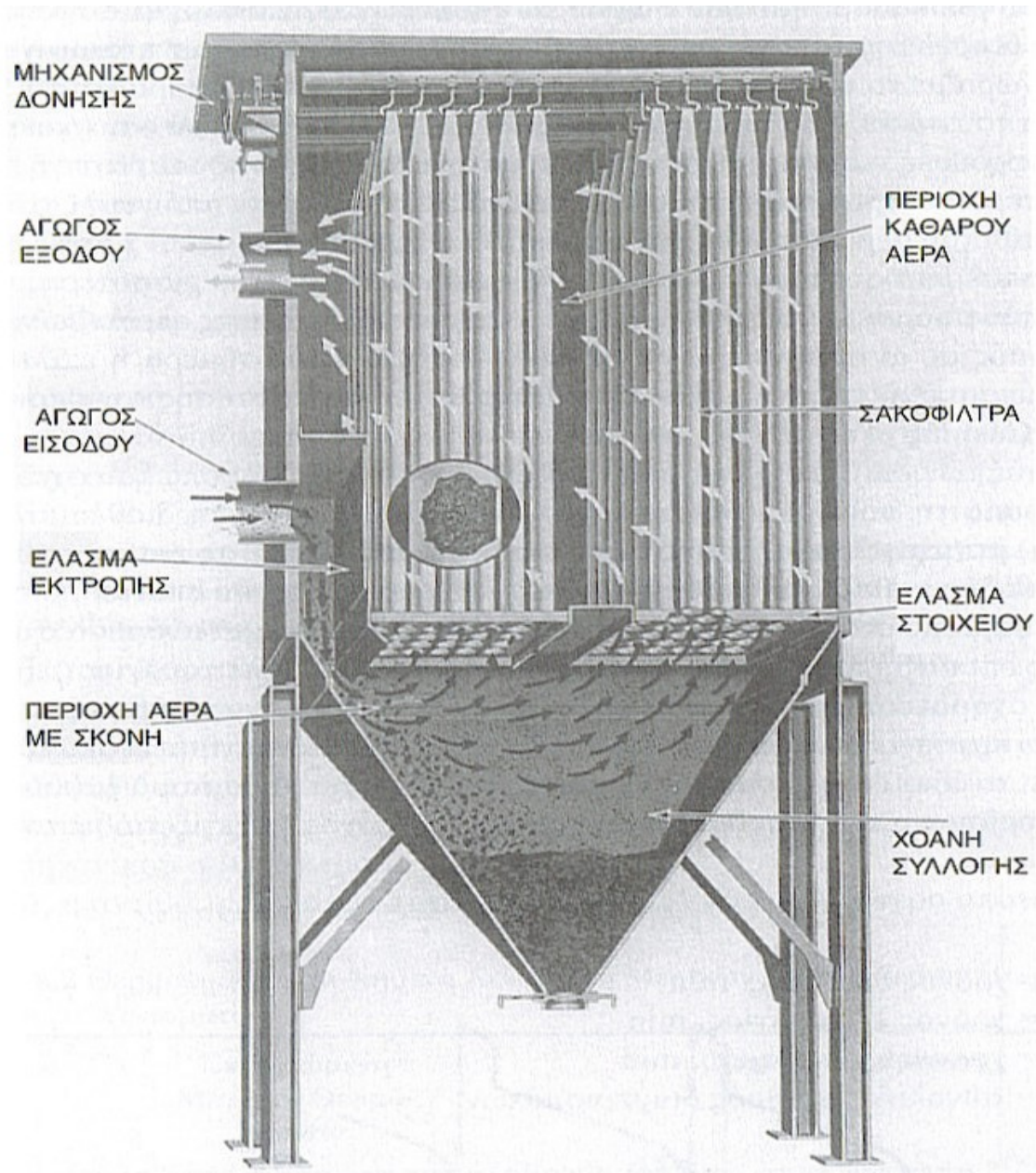
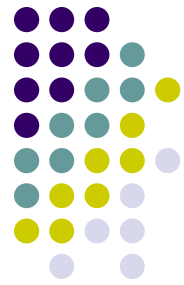


Πίνακας . Θερμοκρασία και Χημική Αντίσταση Μερικών Συνηθισμένων Βιομηχανικών Υφασμάτων

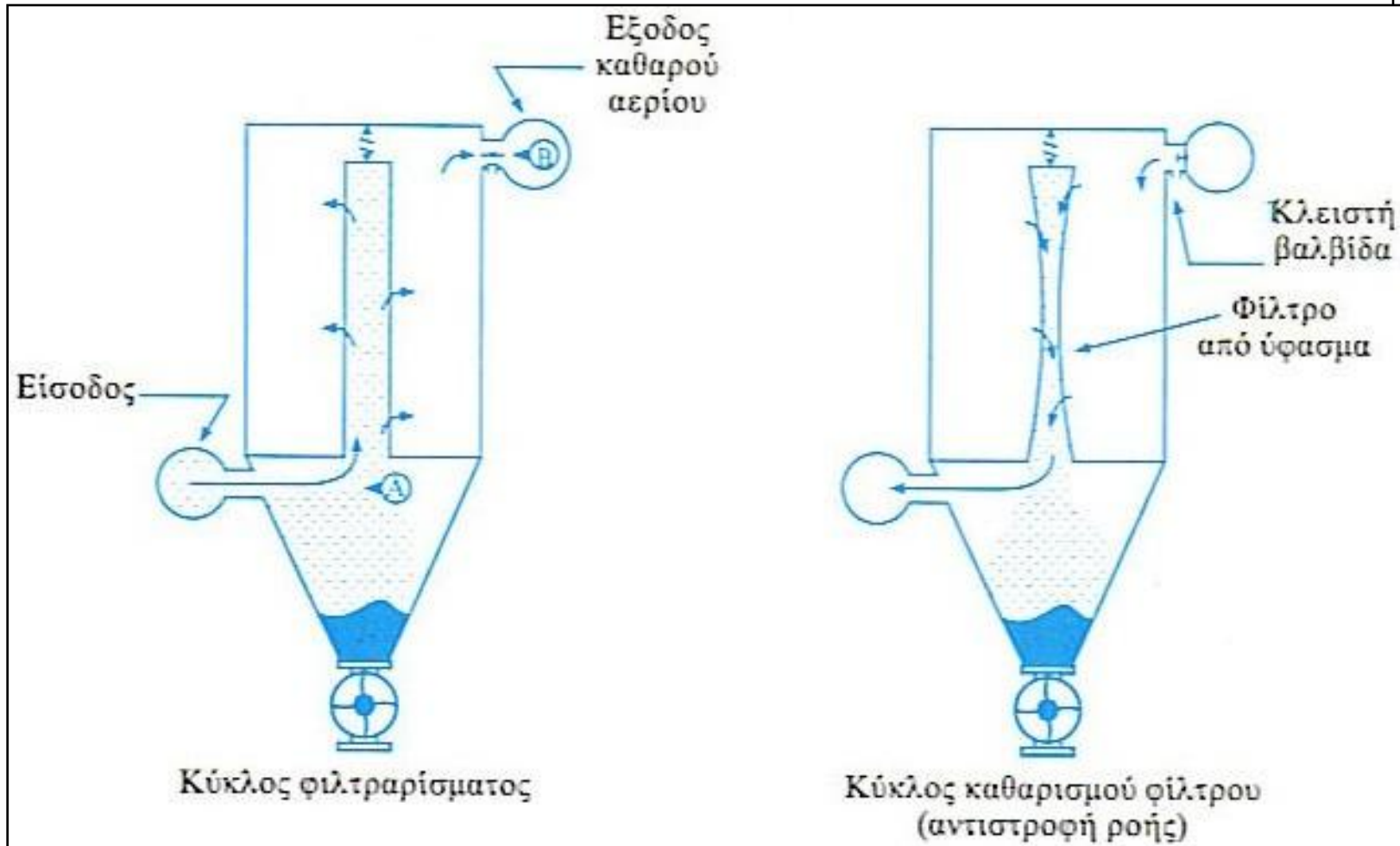
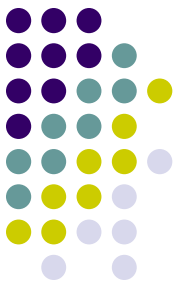
Υφασμα	Συνιστώμενη	Χημική Αντίσταση	
	Μέγιστη Θερμοκρασία	Οξύ	Βάση
Dynel	160	Καλή	Καλή
Βαμβάκι	180	Χαμηλή	Καλή
Μαλλί	200	Καλή	Χαμηλή
Νάιλον	200	Χαμηλή	Καλή
Πολυπροπυλένιο	200	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Orlon	260	Καλή	Μέτρια
Dacron	275	Καλή	Μέτρια
Nomex <sup>®</sup>	400	Μέτρια	Καλή
Teflon <sup>®</sup>	400	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

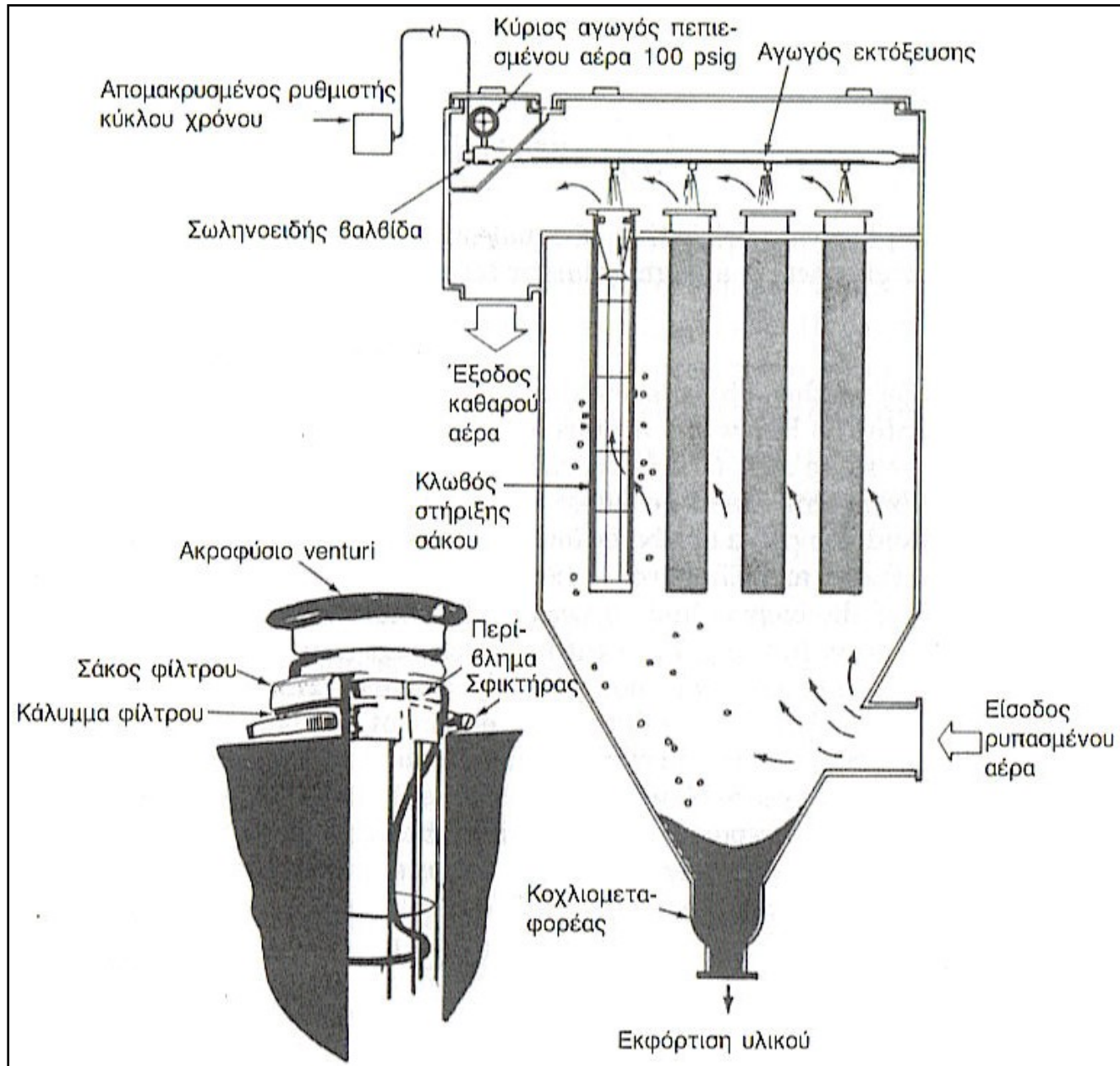
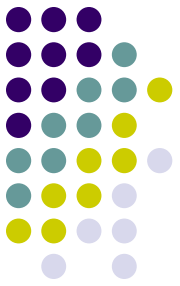


Πίνακας . Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης για Διάφορες Σκόνες σε Σακκόφιλτρα με Μηχανική Δόνηση και Ρεύμα Αέρα Αντίθετου Ροής

Σκόνες	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft <sup>2</sup> 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, Κώκ, 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 <b>2-4 ft/min</b>

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

# Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα



# Σακκόφιλτρα δόνησης με αέρα

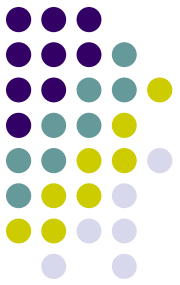


Πίνακας . Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης\* για Διάφορες Σκόνες ή Καπνούς σε Σακκόφιλτρα Δόνησης με Αέρα υπό Πίεση.

Σκόνες ή Καπνοί	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft <sup>2</sup> ή ft/min
Ανθρακας, Γραφίτης, Ατμοί Μεταλλουργίας, Σαπούνι, Καθαριστικά, Οξειδίο Ψευδαργύρου	5 – 6
Τσιμέντο (Ακατέργαστο), Άργιλος (Πράσινη), Πλαστικά, Χρωστικές Ουσίες, Άμυλο, Ζάχαρη, Ξυλόσκονη, Ψευδάργυρος (Μεταλλικός)	7 – 8
Οξειδίο 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 <b>5-14 ft/min</b>

\*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



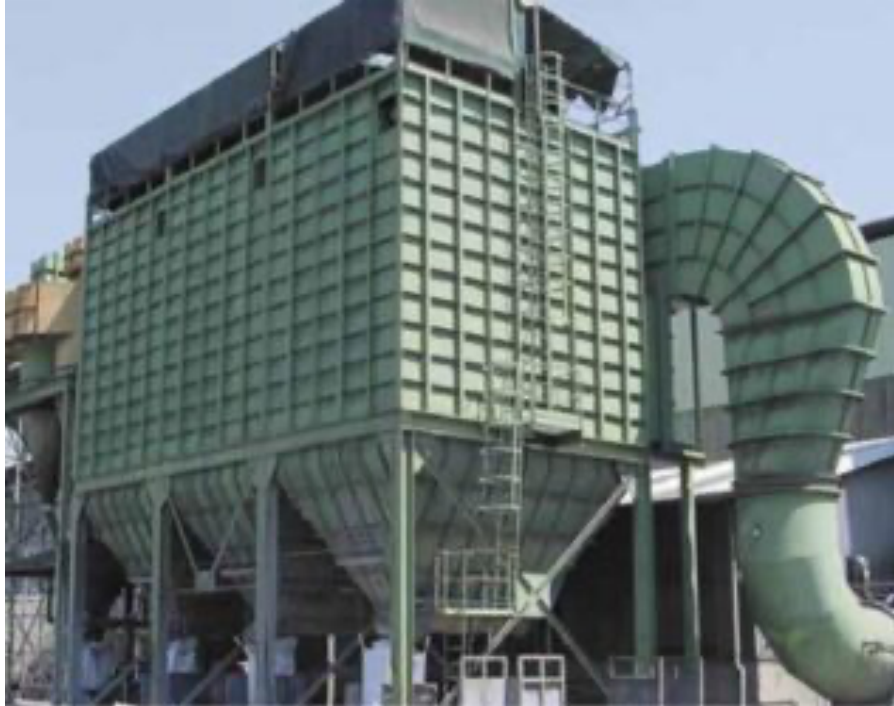
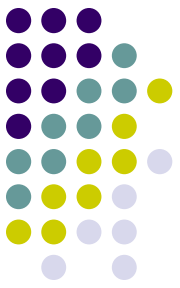
- Μειονεκτήματα
- Μεγάλο μέρος από τη σκόνη που πέφτει από το σάκο βρίσκεται πάλι αιωρούμενη και επιστρέφει στο ίδιο ή σε γειτονικά σακκόφιλτρα
- Ο καθαρισμός είναι ανομοιόμορφος (το κάτω 1/3 σχεδόν δεν καθαρίζεται)

# Σακκόφιλτρα

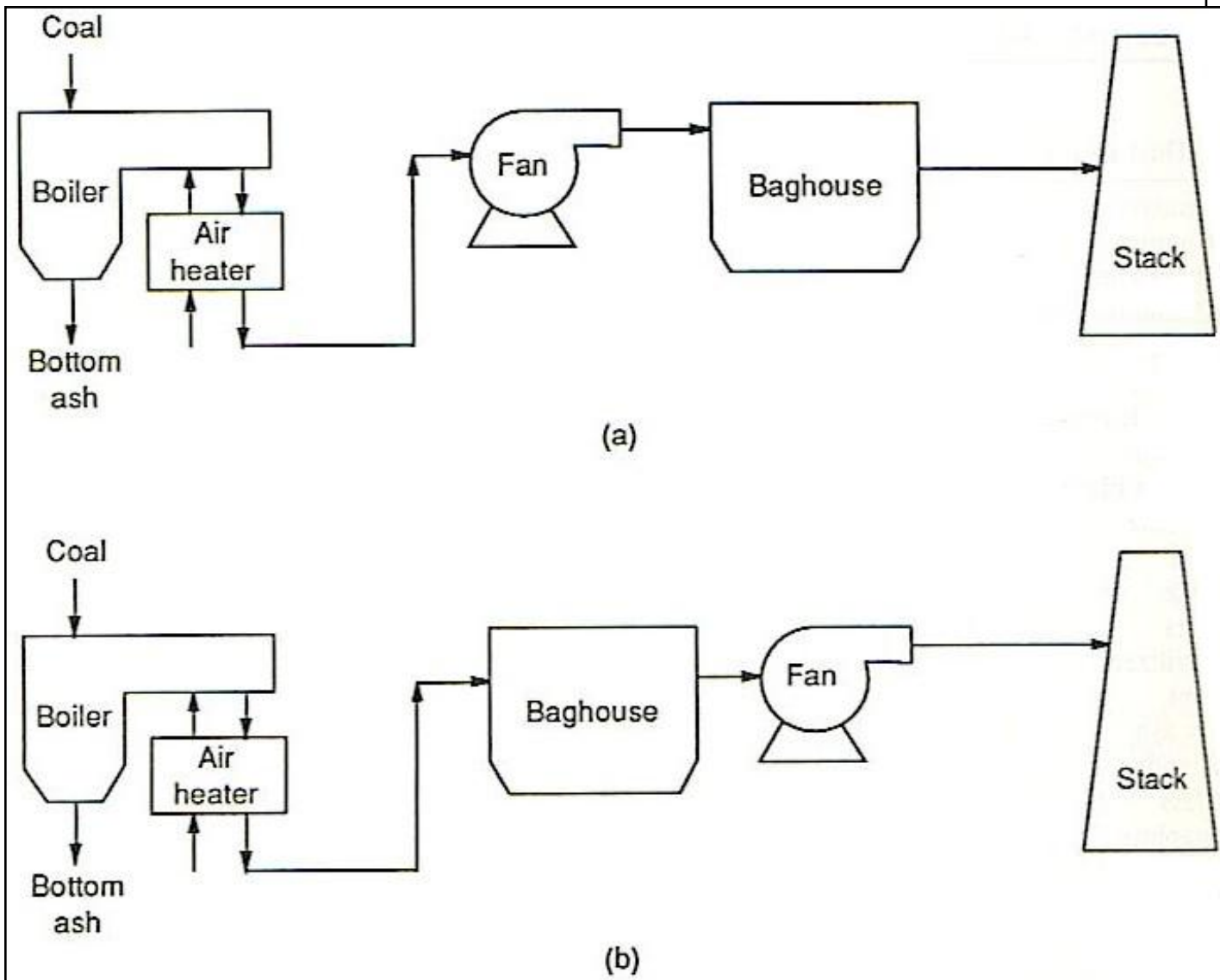


ΔΠΘ-ΜΠΔ

# Σακκόφιλτρα

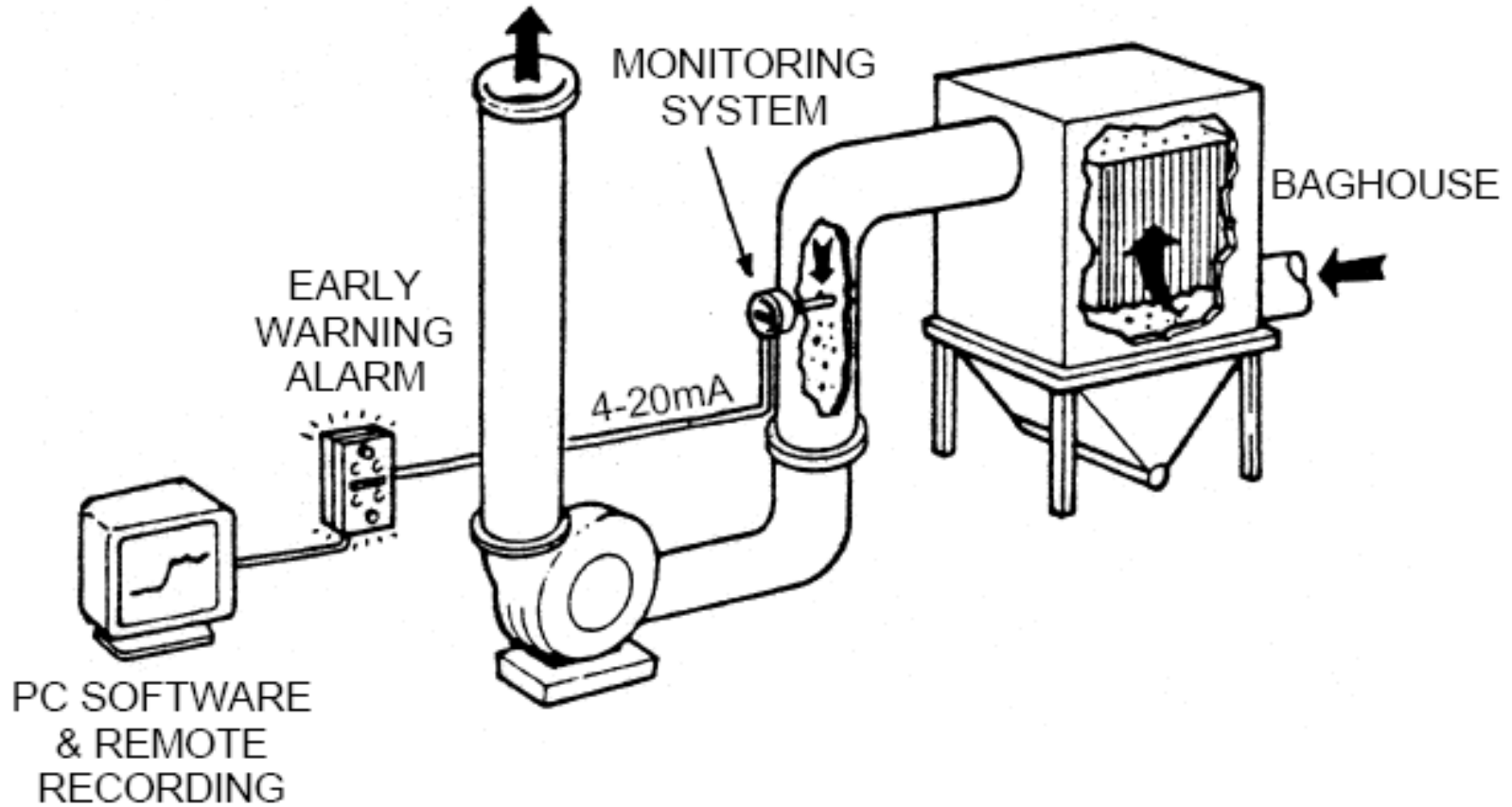
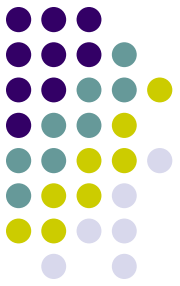


# Συστήματα σακκόφιλτρων θετικής (a) και αρνητικής πίεσης (b)

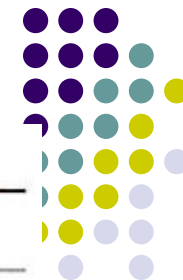




# Τυπική διάταξη σακκόφιλτρου αρνητικής πίεσης



# Σακκόφιλτρα - κόστος



Πίνακας . Τιμές Υφασμάτων Σάκων Φιλτραρίσματος, \$/ft<sup>2</sup> (σε δολάρια 1998)

Είδος Καθαρισμού	Διάμετρος Σάκου (ίντσες)	Τύπος Υλικού									
		PE	PP	NO	HA	FG	CO	TF	P8	RT	NX
Πεπιεσμ. Αέρα, TR <sup>b</sup>	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 <sup>b</sup>	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

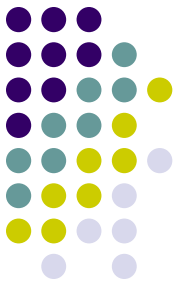
NA = Μη εφαρμόσιμο

<sup>a</sup>Υλικά: 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.

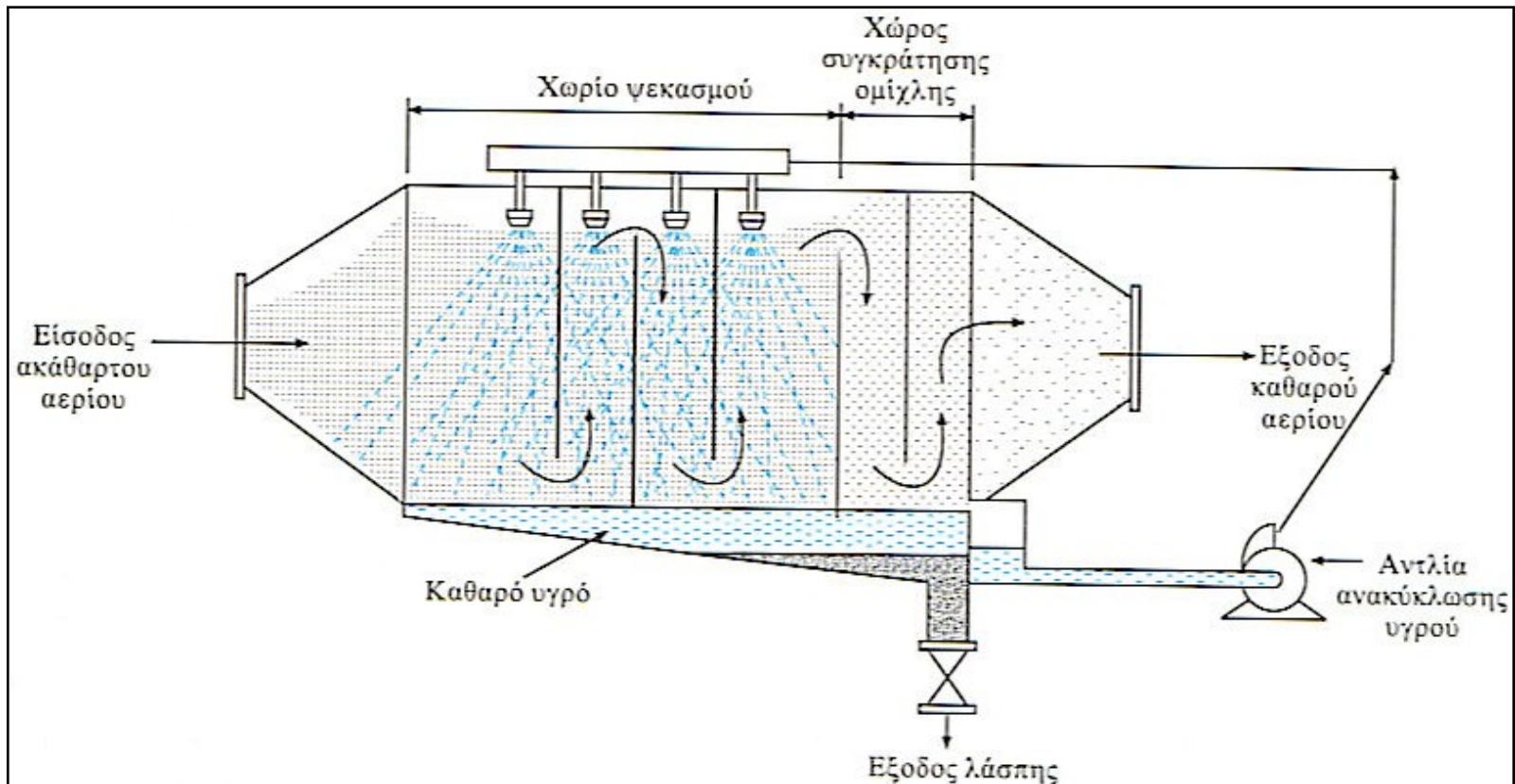
<sup>b</sup>Τρόποι αφαίρεσης σάκων: TR = Αφαίρεση σάκου από πάνω (αυτόματη συγκράτηση); BR = Αφαίρεση σάκου από κάτω.

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 τσόχيني εκτός του υαλούφασματος που είναι με ύφανση. Όλες οι τιμές είναι για τελειωμένους σάκους και οι τιμές μπορεί να ποικίλουν από προμηθευτή σε προμηθευτή.

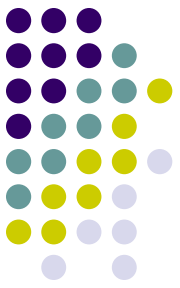
# Εκπλυτές (υγρά φίλτρα)



- 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

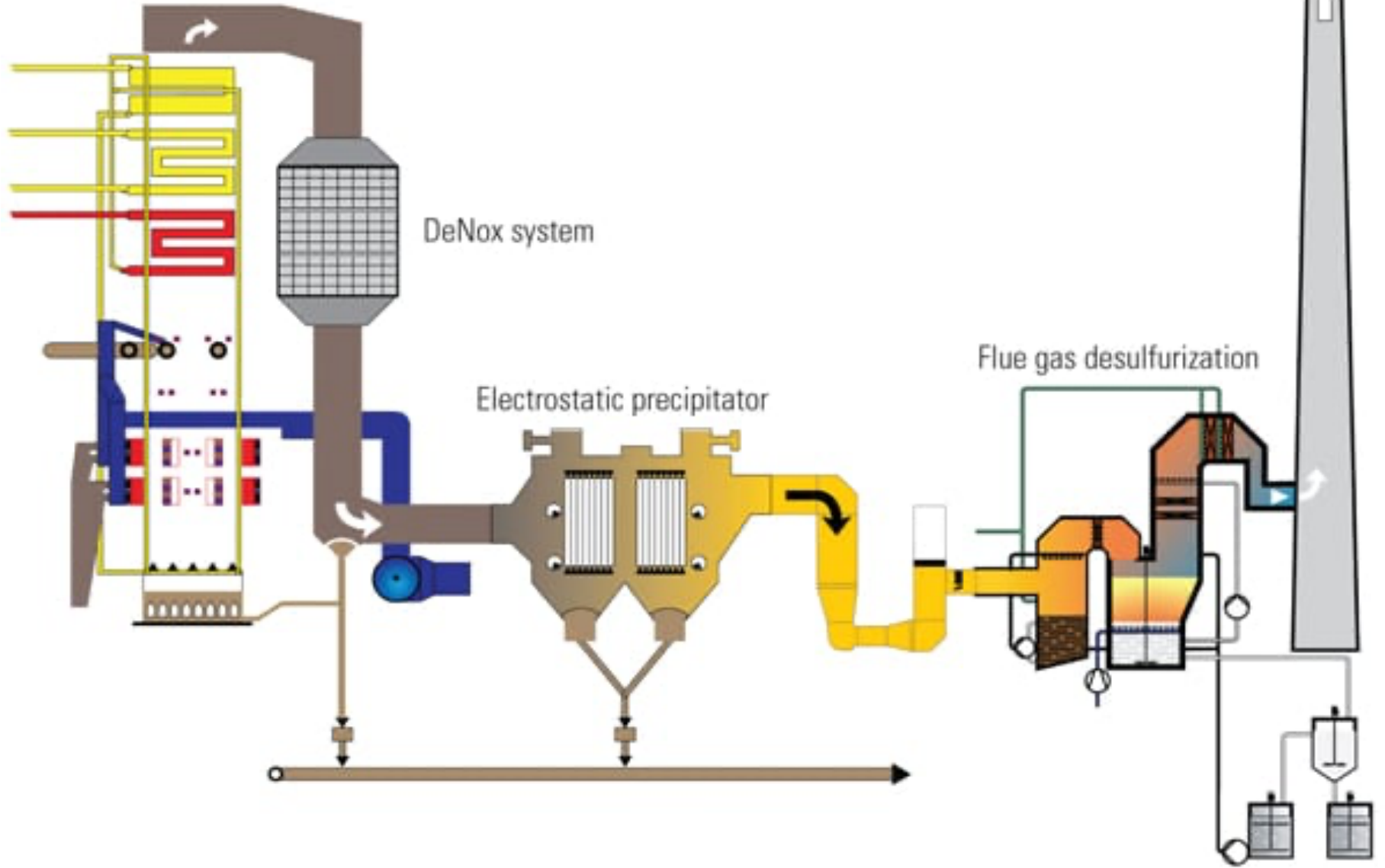


# Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)

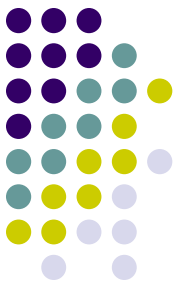


- Η διεργασία του διαχωρισμού με ηλεκτροστατικά φίλτρα περιλαμβάνει:
  - Ιονισμό του αέρα με το ρυπαντικό φορτίο που ρέει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια
  - Φόρτιση, μετακίνηση και συλλογή του ρυπαντικού φορτίου στις αντίθετα φορτισμένες πλάκες
  - Απομάκρυνση των σωματιδίων από τις πλάκες
- Σωματίδια: ξηρές 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

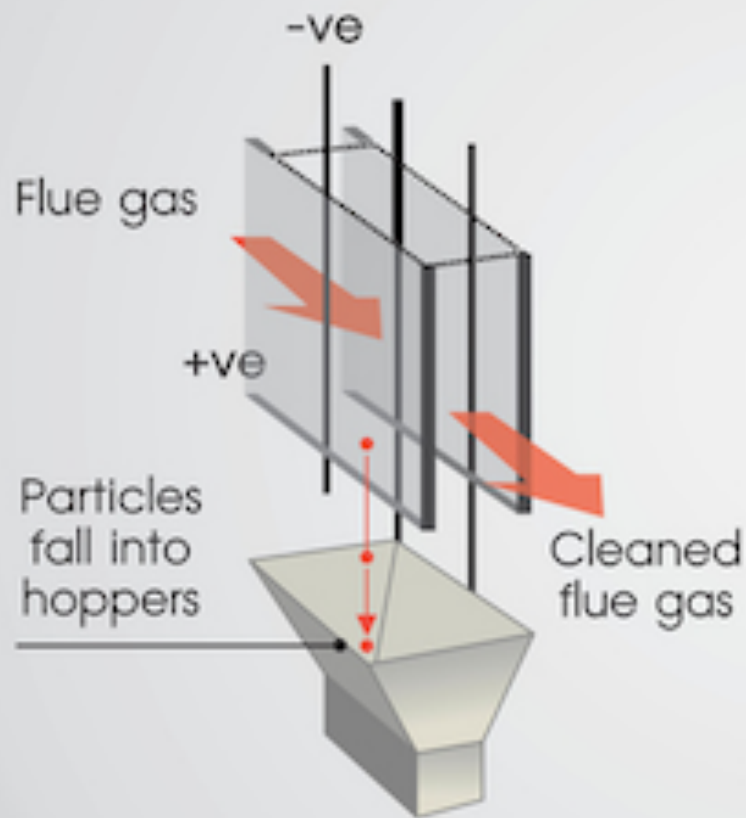
# Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)



# Ηλεκτροστατικά φίλτρα - Αρχή λειτουργίας

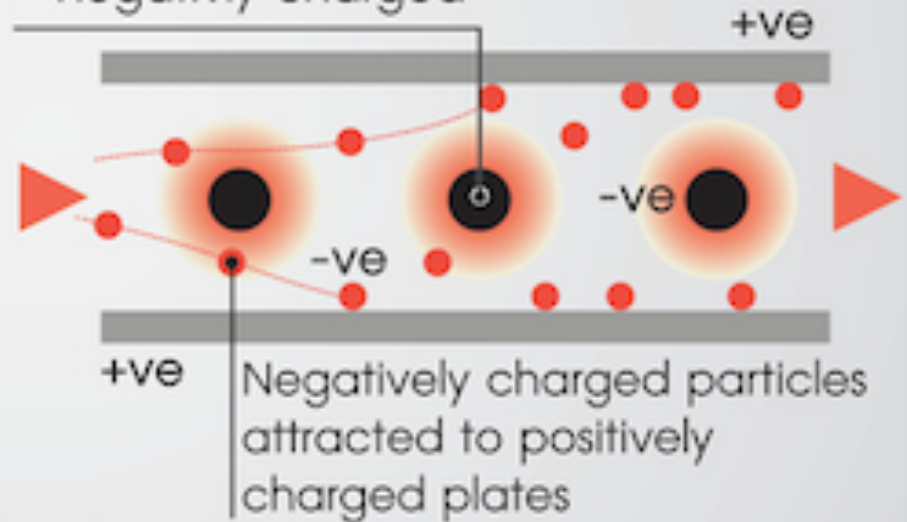


## ELECTROSTATIC PRECIPITATION

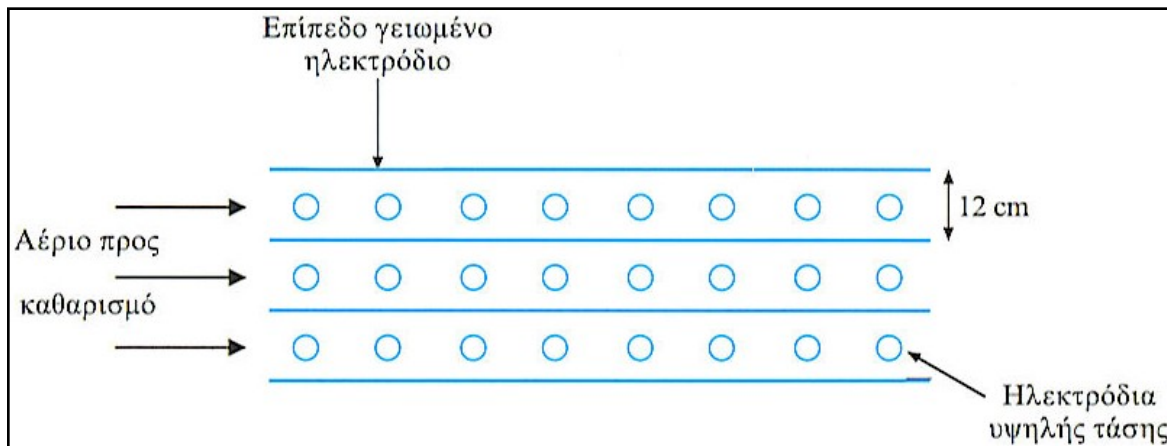
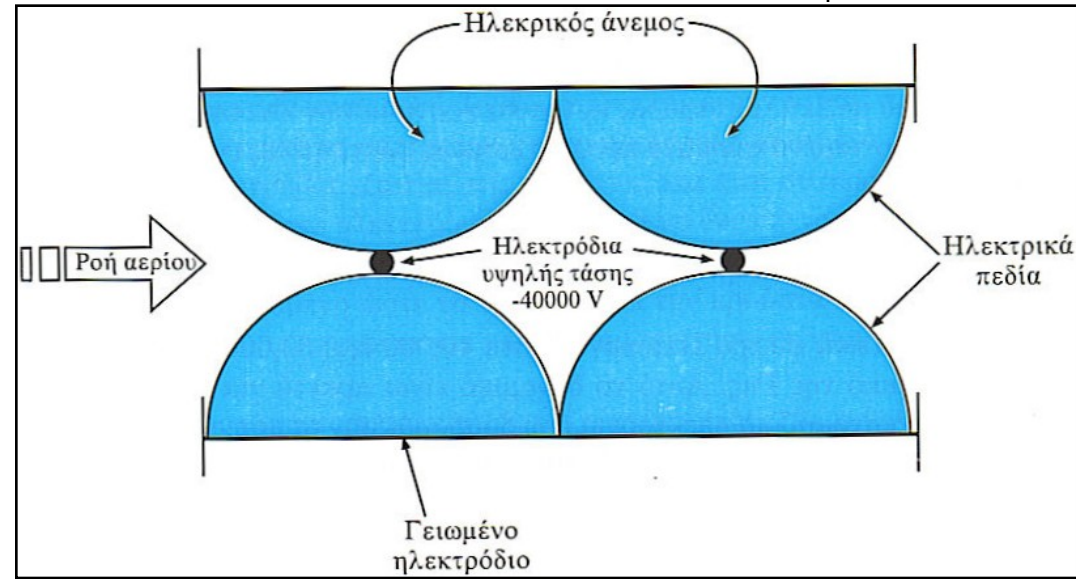
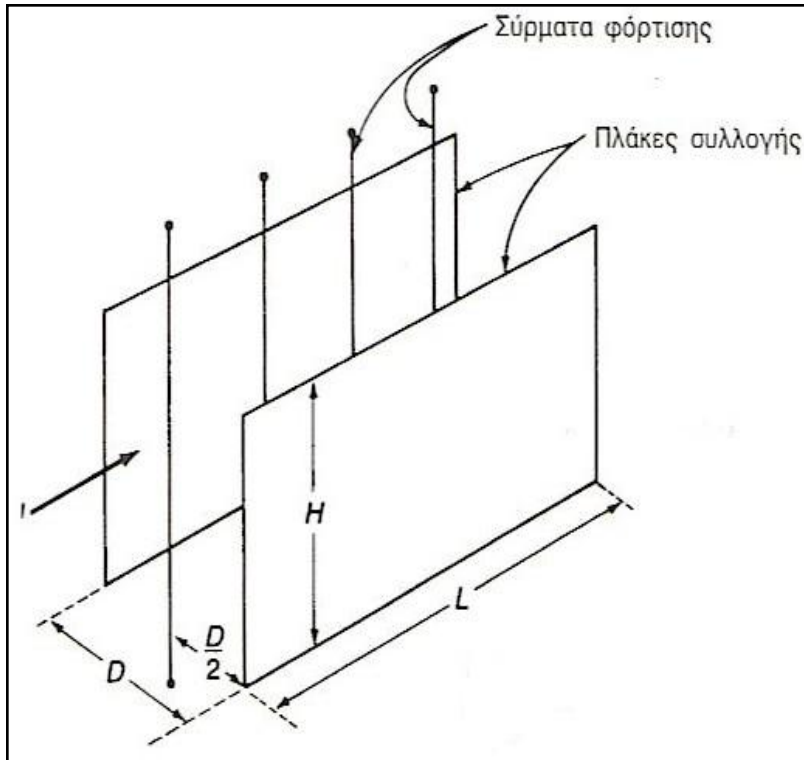
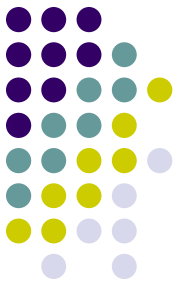


## CROSS SECTION

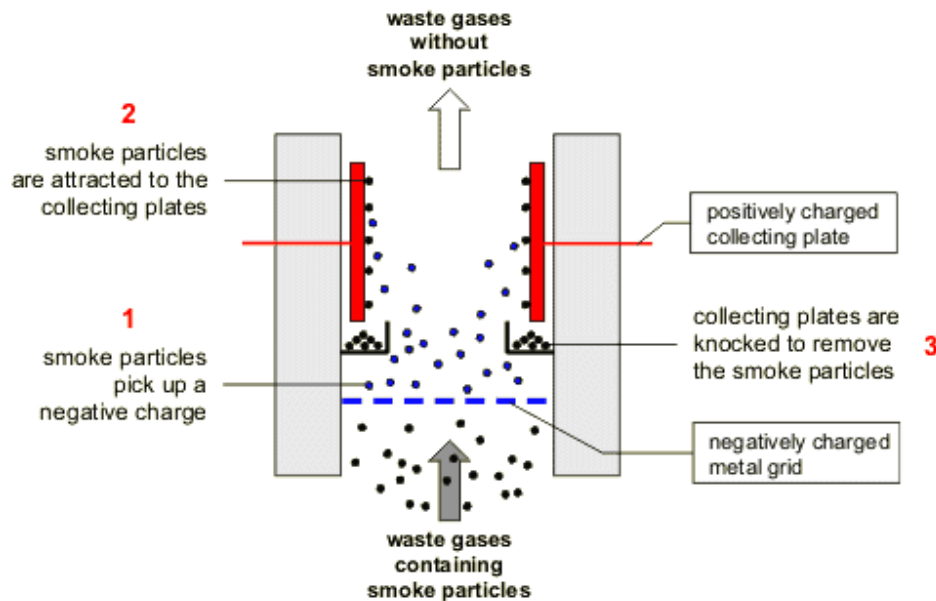
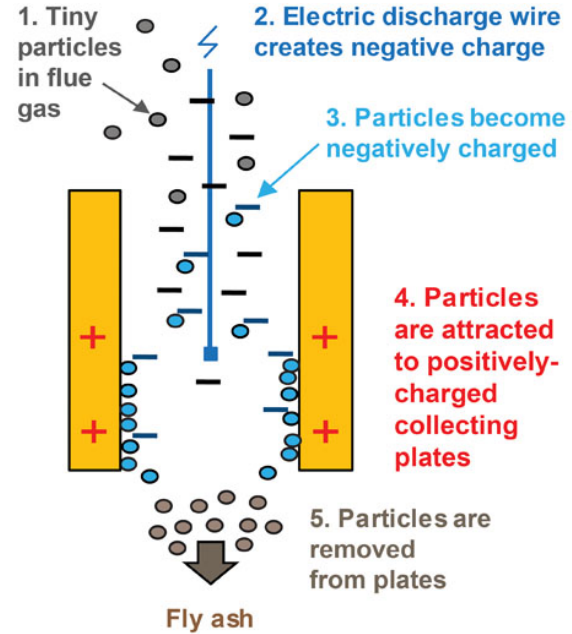
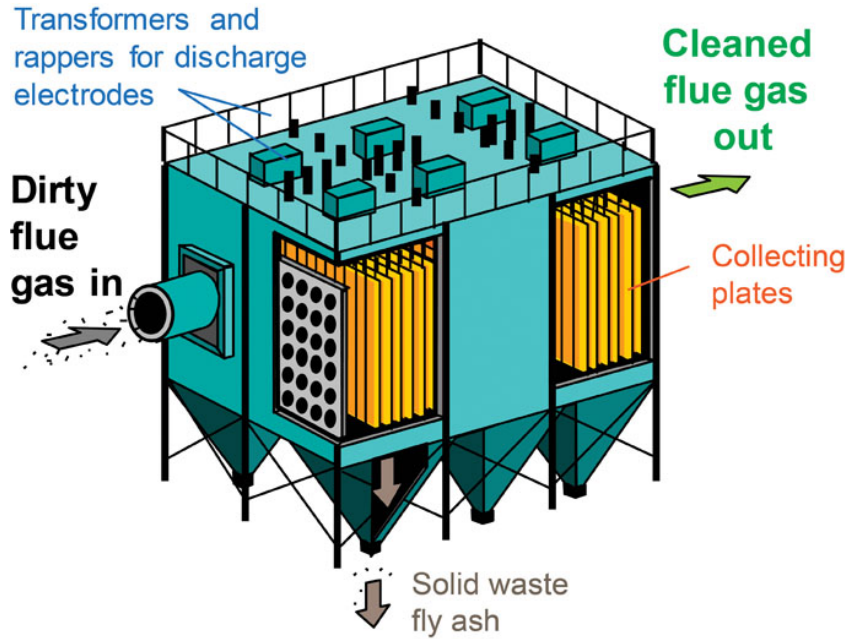
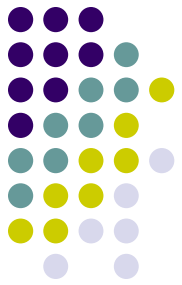
Electrodes cause particles to become negatively charged



# Ηλεκτροστατικά φίλτρα (αρχή λειτουργίας)

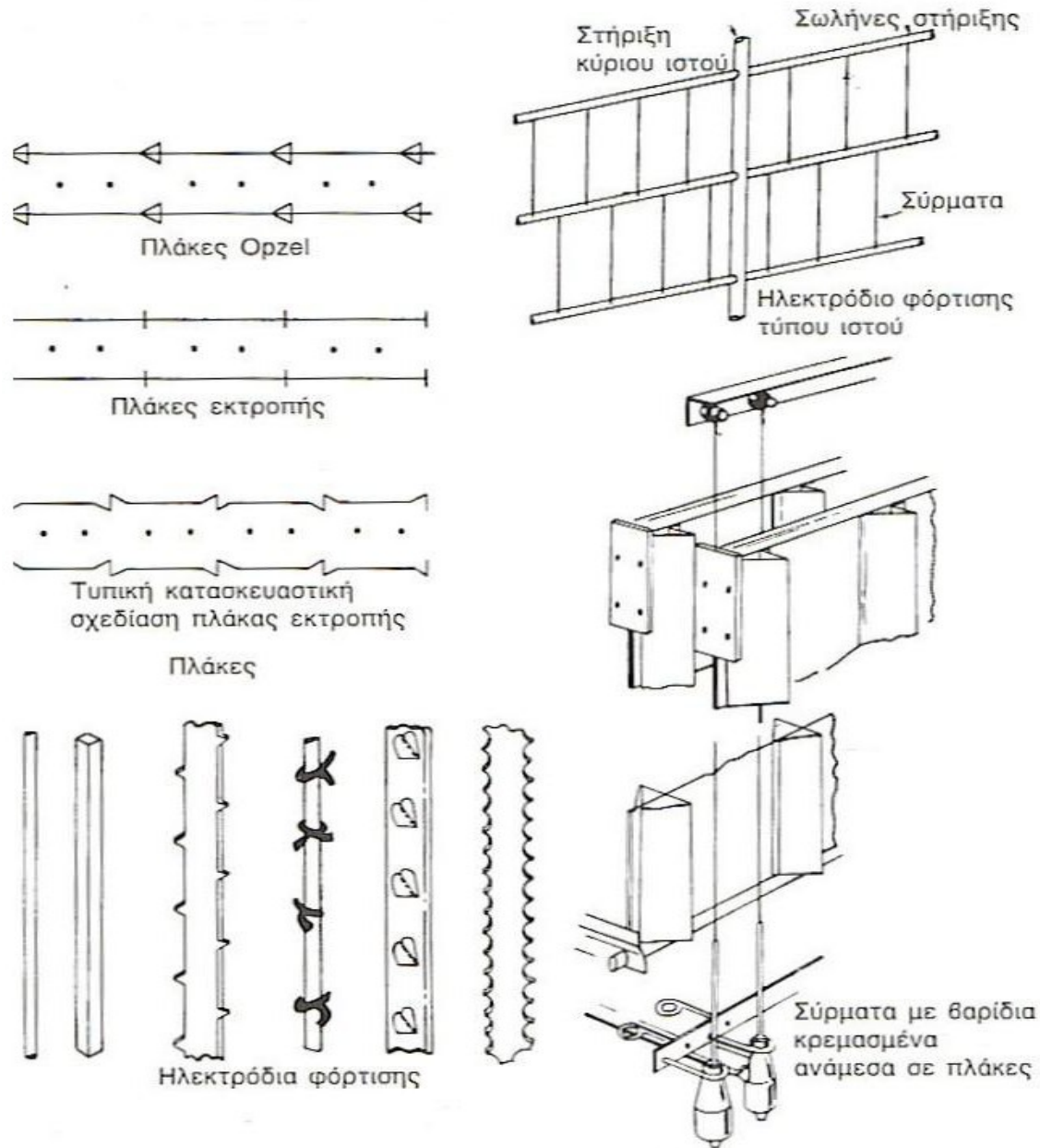
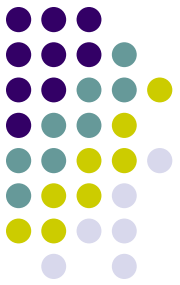


# Αρχή Λειτουργίας Η/Φ

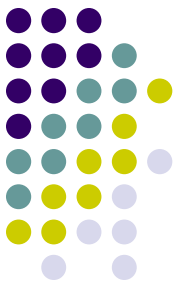
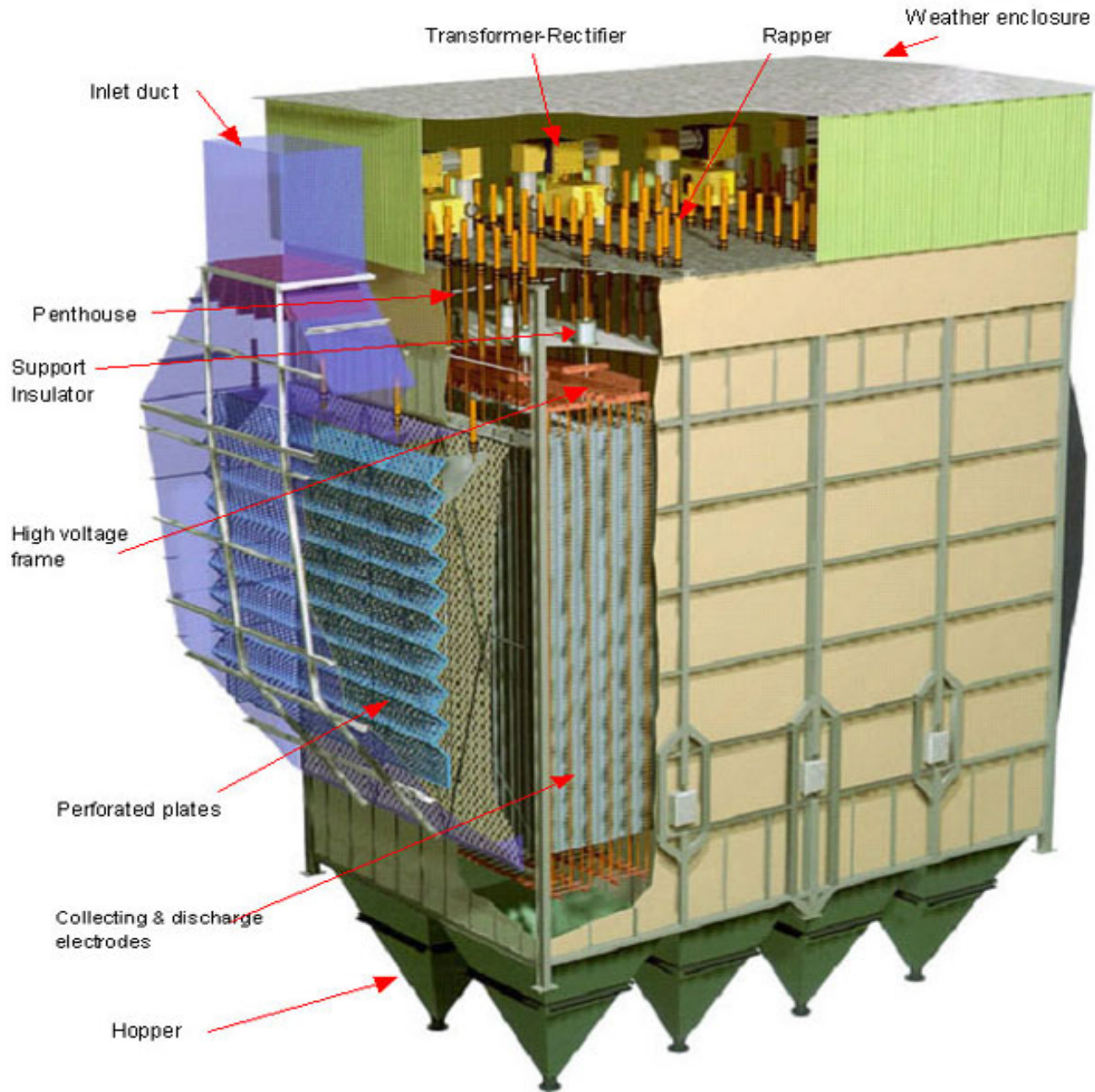




# ESP - Ηλεκτρόδια Φόρτισης και Συλλογής



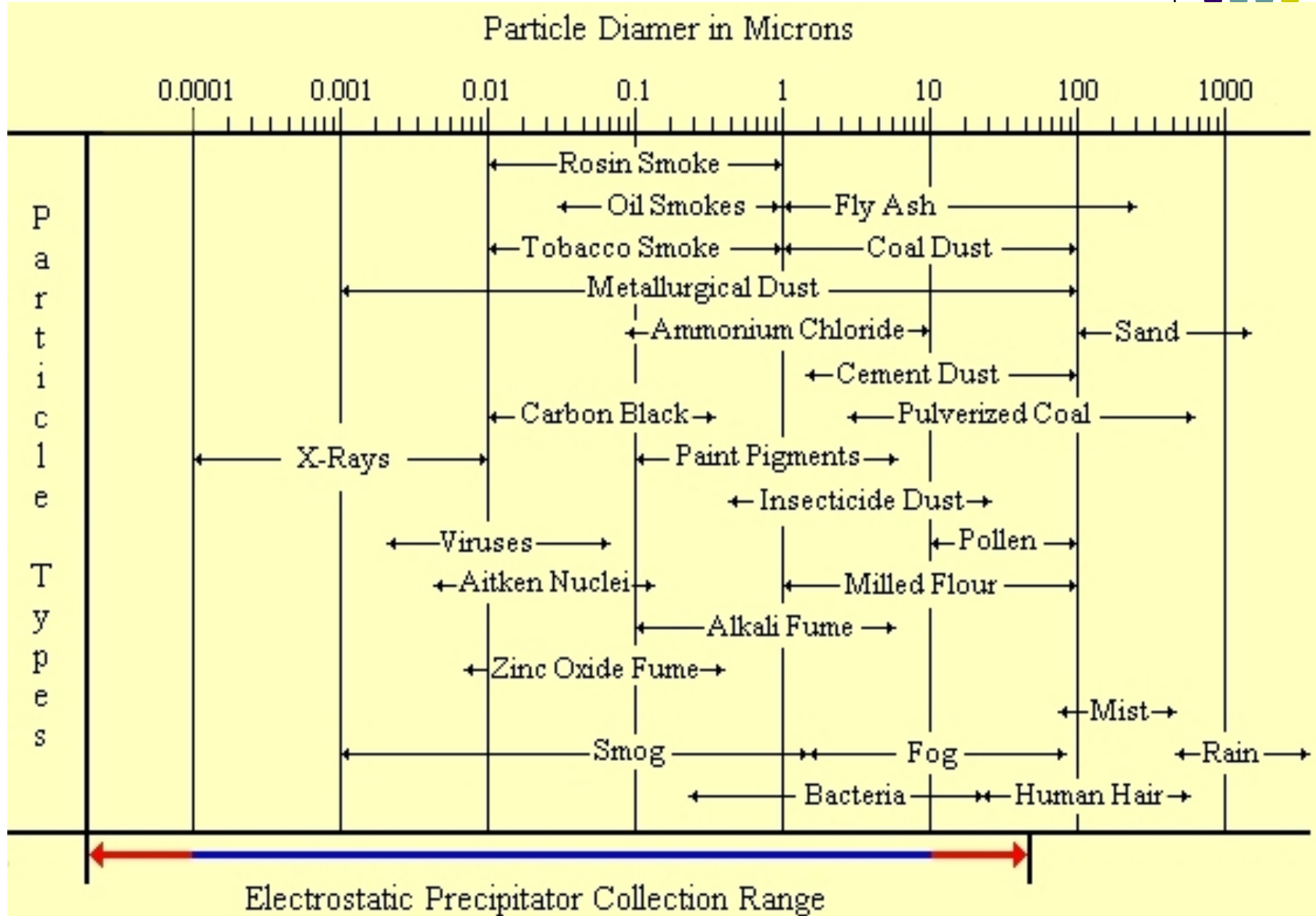
# Το Εσωτερικό ενός Η/Φ



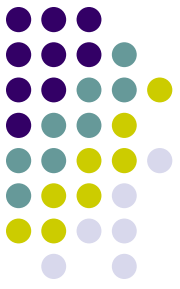
# Ηλεκτροστατικά Φίλτρα



# Εύρος συγκράτησης σωματιδίων από ένα Η/Φ



# Ηλεκτροστατικά φίλτρα (Electrostatic Precipitators, ESP)



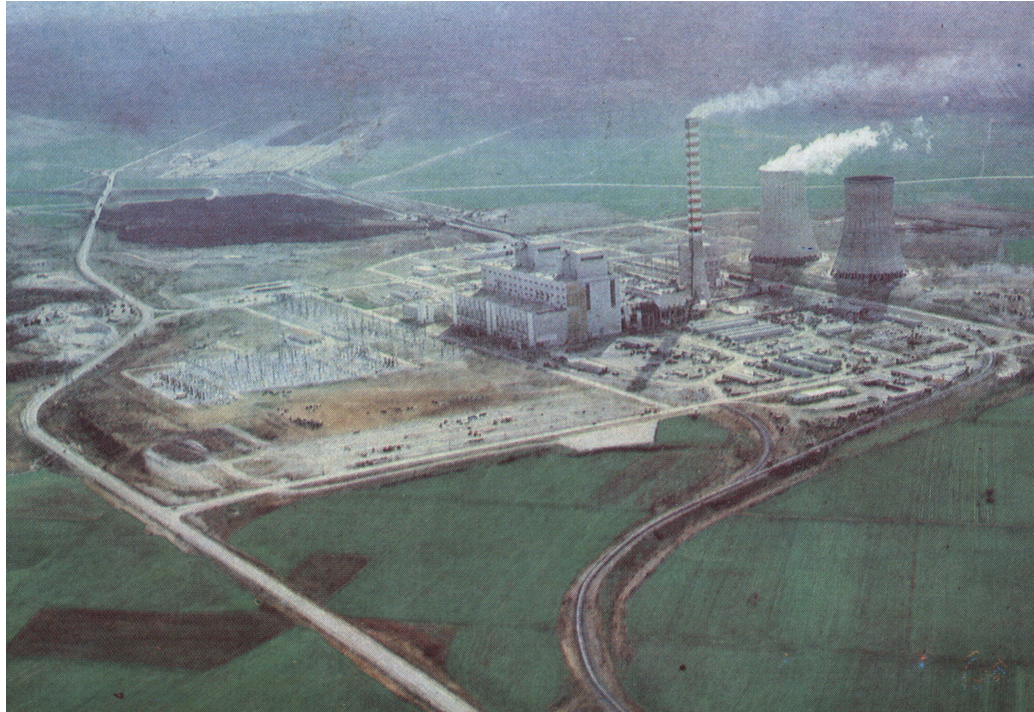
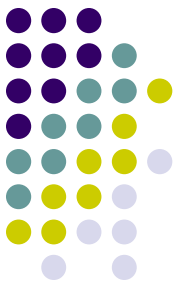
## ● Πλεονεκτήματα:

- Πολύ υψηλές αποδόσεις ακόμη και για πολύ μικρά σωματίδια (> 99%)
- Δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων όγκων αερίου (~120.000 m<sup>3</sup>/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 10<sup>7</sup>-10<sup>11</sup> 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)**

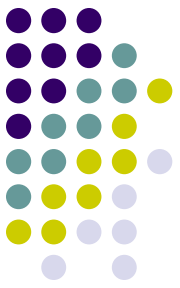
Τηλεθέρμανση: Σε λειτουργία, για πρώτη φορά στη χώρα μας, ένα νέο, καινοτόμο και πρωτοποριακό ενεργειακό έργο για τα ελληνικά δεδομένα

# Η/Φ του Α.Η.Σ. Αμυνταίου

ΔΠΘ-ΜΠΔ

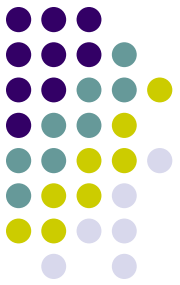


# Σύστημα Αναπήδησης για την απομάκρυνση της τέφρας





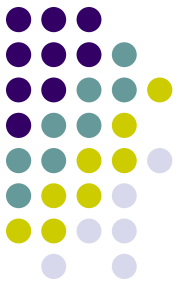
# Τύπος Απόδοσης ενός Η/Φ



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

- $A$  = 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



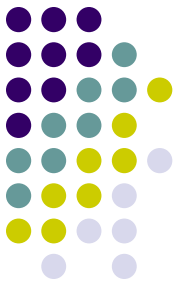
- Κάθε Η/Φ κατακρατεί 360.000 t/y
- Κάθε μονάδα έχει 2 Η/Φ
- Το σύνολο των Η/Φ είναι 30
- Επομένως συγκρατούνται 11.000.000 t/y
- Οι διαφυγές φτάνουν τις 110.000 t/y

# Διαστάσεις ενός Η/Φ



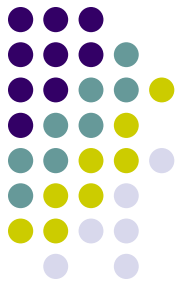
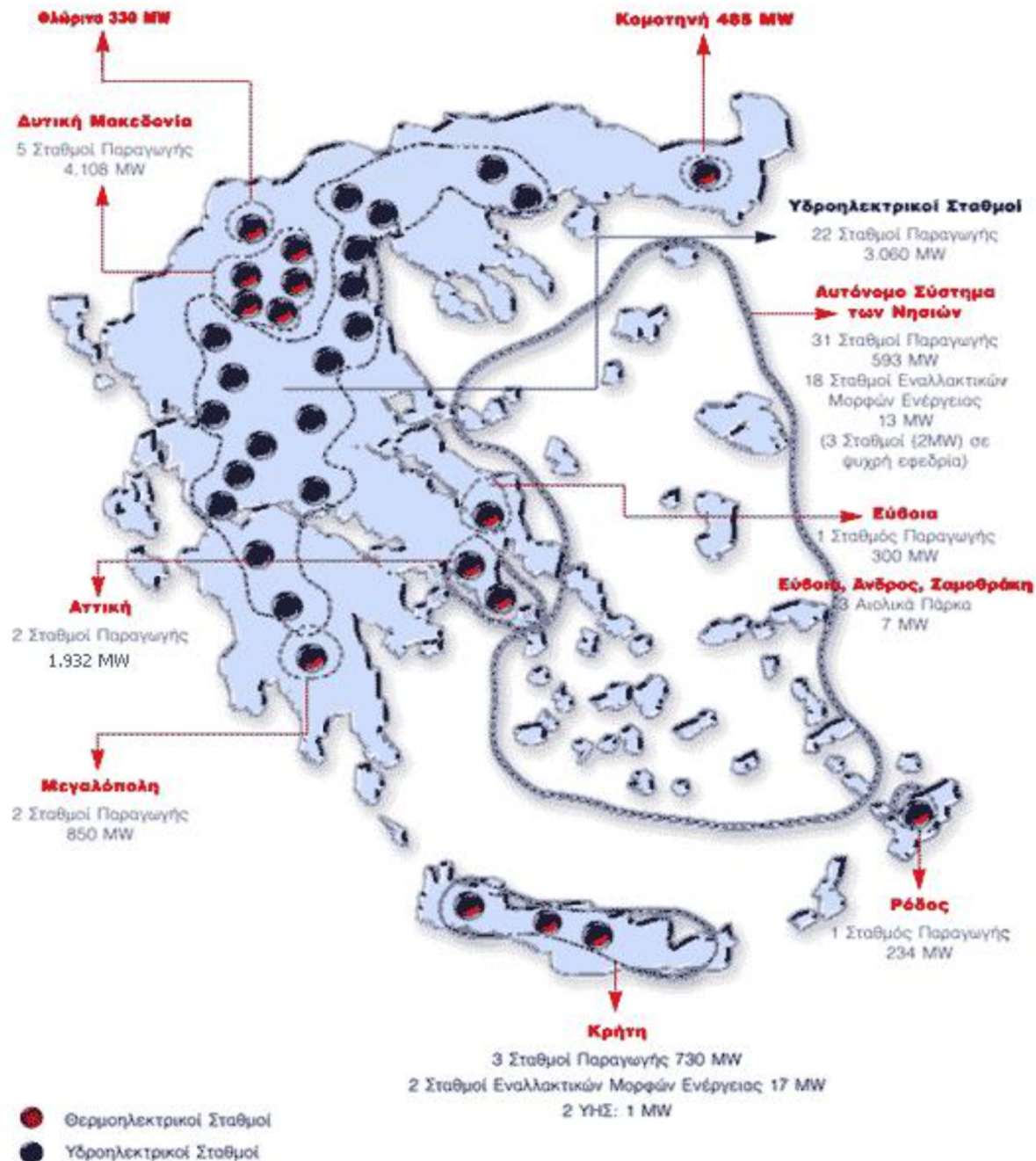
Αριθμός θαλάμου	1
Αριθμός ομάδων μετασχηματιστών-ανορθωτών	8
Συνολικό πλάτος	15 m
Συνολικό ύψος	13,5 m
Συνολικός χώρος	4.617 m <sup>3</sup>
Σύνολο χοανών	20
Πάχος όλων των μετάλλων	5 mm
Διαστάσεις χοάνης	$16(5.425,9*5,8)+4(3,6*5,8)$
Επιφάνεια οροφής	610 m <sup>2</sup>
Επιφάνεια σωλήνα	1.090 m <sup>2</sup>
Επιφάνεια χοάνης	1.400 m <sup>2</sup>

# Καυσαέρια που εισέρχονται στο Η/Φ σε βάρος



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

## ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



# ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2019



ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΗ Α.Ε. (31/12/2007)

ΘΗΣ

	Λιγνιτικές Μονάδες	Πετρελαϊκές Μονάδες	Μονάδες Φυσικού Αερίου	Σύνολο ΘΗΣ*	ΥΗΣ**	ΑΠΕ***	ΣΥΝΟΛΟ
<b>Διασυνδεδεμένο</b>	5.288	750	1.966	8.004	3.020	46	11.070
<b>Κρήτη, Ρόδος &amp; λοιπά αυτόνομα νησιά</b>	-	1.656	-	1.656	-	34	1.689
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>9.660</b>			<b>3.020-</b>	<b>80</b>	<b>12.760</b>

\* Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί

\*\* Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

\*\*\* Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

(ανήκουν στη "ΔΕΗ ΑΝΑΜΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ")

**Λιγνιτικές μονάδες**

**Μονάδες φυσικού αερίου**

**Πετρελαϊκές μονάδες**

**Συγκροτήματα υδροηλεκτρικών**

Αγίου Δημητρίου

Κερατέας - Λαυρίου

Αθρινόλακκου

Αλιάκμονα

Αμυνταίου-Φιλώτα

Κομοτηνής

Χανίων

Αράχθου

Καρδιάς - Πτολεμαΐδας

Αλιβερίου

Λινοπεραμάτων

Αχελώου

Μεγαλόπολης V

Σκύρου

Νέστου

Σορωνής - Ρόδου

Λάδωνα (ΥΗΣ)

# ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2019



## Κατηγορία πρωτογενούς πηγής ενέργειας

Εγκατεστημένη ισχύς 2017 (MW)

Εγκατεστημένη ισχύς 2018 (MW)

Εγκατεστημένη ισχύς 2019 (MW)

Λιγνίτης	4.337 (36%)	3.407 (31%)	2.807 (26,6%)
Φυσικό αέριο	2.689 (22%)	2.689 (24%)	2.689 (25,5%)
Πετρέλαιο	1.771 (15%)	1.875 (17%)	1.877 (17,8%)
Υδροηλεκτρικά	3.171 (27%)	3.171 (28%)	3.171 (30,1%)

**Σύνολο**

**11.968**

**11.142**

**10.544**

\* Δεν περιλαμβάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των θυγατρικών εταιρειών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε. συνολικού ύψους 930MW για τα έτη 2018-2019.

## Κατηγορία πρωτογενούς πηγής ενέργειας

Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2017 (GWh)

Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2018 (GWh)

Καθαρή παραγωγή ενέργειας 2019 (GWh)\*

Λιγνίτης	16.387 (51%)	11.111 (41%)	6.995 (32%)
Φυσικό αέριο	7.656 (23%)	6.362 (23%)	7.120 (32%)
Πετρέλαιο	4.827 (15%)	4.586 (17%)	4.595 (21%)
Υδροηλεκτρικά	3.456 (11%)	5.051 (19%)	3.363 (15%)

**Σύνολο**

**32.326**

**27.110**

**22.073**

\* Το 2019, η συνολική καθαρή παραγωγή ενέργειας των θυγατρικών εταιρειών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε. ανήλθε σε 3.423 GWh.

# ΔΕΗ-Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2019



ΡΥΠΟΓ'	Εκπομπές 2017 (τόνοι)	Εκπομπές 2018 <sup>2</sup> (τόνοι)	Εκπομπές 2019 (τόνοι)
Οξείδια του θείου (SOX)	38.500	29.200 (32.500)	26.200 (29.800)
Οξείδια του αζώτου (NOx)	46.300	42.300 (45.000)	36.900 (39.300)
Σωματιδιακές εκπομπές (PM)	3.820	2.810 (2.900)	1.630 (1.710)
Pb	2,13	2,24 (2,37)	1,35 (1,44)
Ni	9,18	7,85 (8,03)	5,20 (5,37)
Cu	3,89	3,75 (3,84)	2,31 (2,38)
Cr(tot)	5,35	5,81 (6,12)	2,58 (2,81)
Zn	7,38	6,75 (7,68)	3,91 (4,57)
Cd	0,40	0,263 (0,292)	0,160 (0,180)
Hg	0,69	0,515 (0,648)	0,283 (0,614)
As	1,49	1,17 (1,20)	0,617 (0,639)

1. Στα στοιχεία του πίνακα περιλαμβάνονται στοιχεία που δημοσιοποιεί η ΔΕΗ στο Ευρωπαϊκό Μητρώο Έκλυσης και Μεταφοράς Ρύπων (E-PRTR, κανονισμός 166/2006/Εκ) και αφορούν στο Διασυνδεδεμένο σύστημα και στις νήσους Κρήτη και Ρόδος. Τελικά απολογιστικά στοιχεία για τα έτη 2017, 2018 και 2019.

2. Για λόγους συγκρισιμότητας στις εκπομπές που εμφανίζονται σε παρένθεση, συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές των ΑΗΣ της ΔΕΗ Α.Ε. και των θυγατρικών εταιρειών Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. και Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε.



## Σταθμοί μέτρησης ποιότητας της ατμόσφαιρας της ΔΕΗ στις ευρύτερες περιοχές των Μονάδων Παραγωγής και των Ορυχείων

Θέση	Αριθμός σταθμών	Μετρούμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι
Βόρειο σύστημα <sup>1</sup>	7	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Λαύριο	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub>
Αλιβέρι <sup>4</sup>	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub>
Κομοτηνή	1	NO <sub>x</sub>
Χανιά	3	NO <sub>x</sub>
Λινοπεράματα	3	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub>
Αθερινόλακκος	3	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Ρόδος <sup>2</sup>	3	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Κως	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Σάμος	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub>
Χίος	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Λέσβος	1	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>
Σύνολο	26 <sup>3</sup>	

1. Βόρειο Σύστημα είναι το δίκτυο 7 σταθμών της ΔΕΗ στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας.

2. Ο Σταθμός Μέτρησης Κατταβιάς (σχετίζεται με τη λειτουργία του νέου ΘΗΣ Νότιας Ρόδου) ξεκίνησε να λειτουργεί την 12.09.2018.

3. Σημειώνεται ότι η Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε. λειτουργεί επιπλέον τρεις (3) Σταθμούς Μέτρησης Ποιότητας της Ατμόσφαιρας (ΣΜΠΑ) και μετεωρολογικών παραμέτρων και η Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε., δύο (2) σταθμούς.

4. Ο ΣΜΠΑ ΛΑΤΤΑ (ΣΜΠΑ στην ευρύτερη περιοχή του ΑΗΣ Αλιβερίου) διέκοψε τη λειτουργία σύμφωνα με την Επιστολή του ΥΠΕΝ, ΔΙΠΑ/6308/27.03.2018.