



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΜΜ900

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

2^η ΕΝΟΤΗΤΑ, Μέρος 4 Επιλογή συλλέκτη

Νίκος Ανδρίτσος
Καθ. Τμ. Μηχ. Μηχ. Π.Θ.





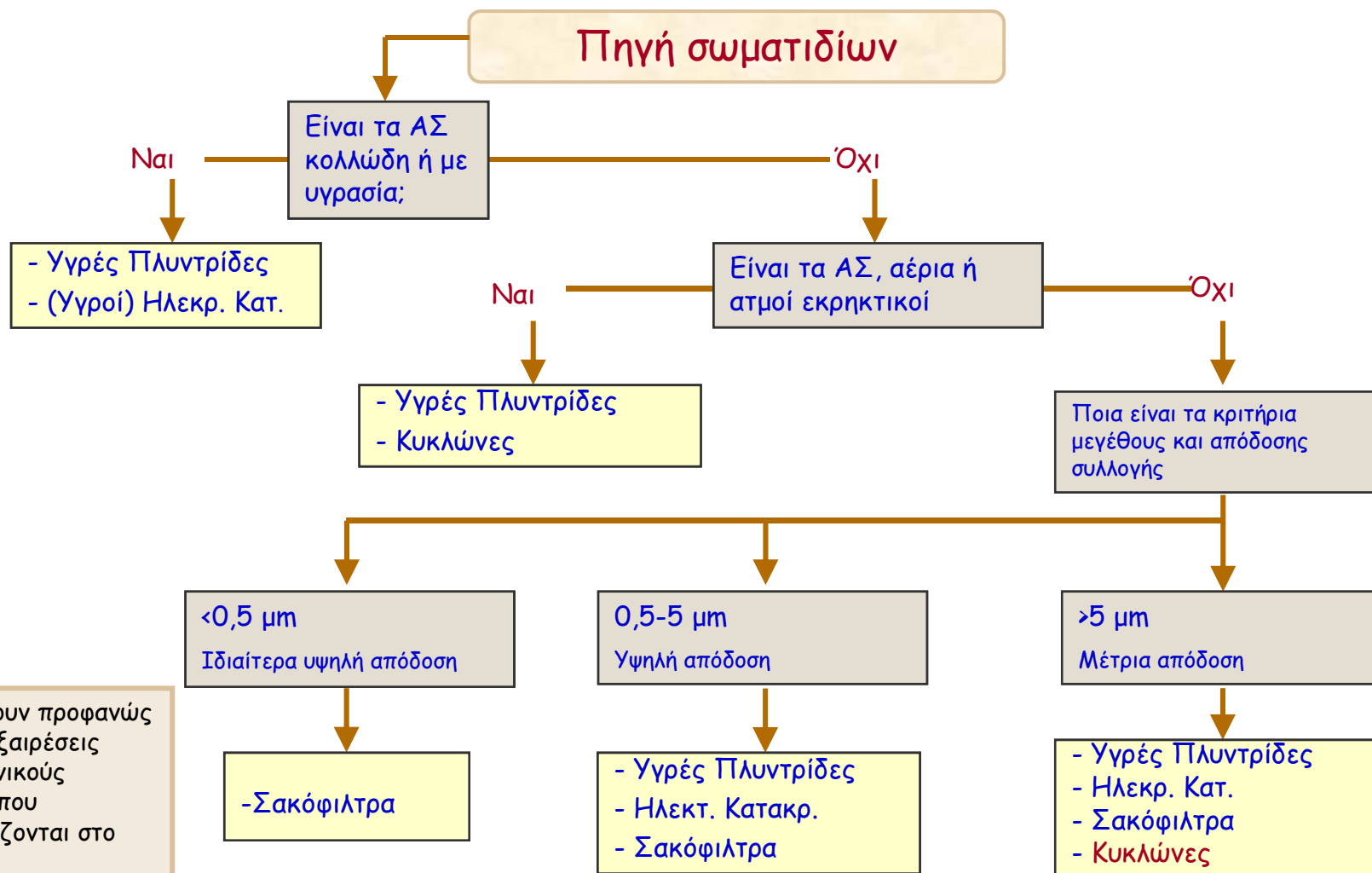
Επιλογή συστήματος συλλογής

Κατά την επιλογή του συστήματος συλλογής σωματιδίων οι παράμετροι που θεωρούνται είναι:

- Χαρακτηριστικά (σχήμα, μέγεθος, πυκνότητα) των σωματιδίων
- Η συγκέντρωση (g/m^3) των σωματιδίων προς συλλογή (επίπεδο και διαταραχές)
- Η απαιτούμενη απόδοση της συλλογής
- Η πτώση πίεσης στο σύστημα
- Η φύση των σωματιδίων (εύφλεκτα; εκρηκτικά; Υγροσκοπικά; Ηλεκτρικές ιδιότητες;)
- Τοξικότητα των σωματιδίων
- Θερμοκρασία του αέριου ρεύματος
- Στα συστήματα όπου απαιτείται απομάκρυνση των συλλεγμένων σωματιδίων, κάθε πότε απαιτείται αυτή;
- Κόστος
- Περιορισμός χώρων



Επιλογή συστήματος συλλογής*



* Υπάρχουν προφανώς πολλές εξαιρέσεις στους γενικούς κανόνες που παρουσιάζονται στο σχήμα.



Επιλογή συστήματος συλλογής: Γενικοί κανόνες (I)

- Μικρές ή περιπτωσιακές ροές μπορούν να μείνουν **μέσα στη συσκευή**: π.χ. φίλτρα cartridge, τσιγάρο.
- Μεγάλες και σταθερές παροχές απαιτούν συστήματα συλλογής που λειτουργούν **συνεχώς ή διακοπτόμενα**. Μια απορριπτόμενη συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στο τελευταίο στάδιο καθαρισμού, π.χ. να συλλέξει τα τελευταία σωματίδια στο αέρα που οδηγείται στον καθαρό χώρο παραγωγής μικροτσιπ.
- **Κολλώδη σωματίδια** (π.χ. πίσσα) θα πρέπει να συλλεχθούν σε συλλέκτη που απορρίπτεται ή σε **υγρό** (το οποίο κατόπιν να επεξεργάζεται).
- Τα σωματίδια που προσκολλώνται με ευκολία μεταξύ τους αλλά όχι με τις στερεές επιφάνειες συλλέγονται εύκολα. Τα σωματίδια με τις αντίθετες ιδιότητες παρουσιάζουν πρόβλημα (π.χ. ίνες καλυμμένες με teflon).
- Οι **ηλεκτρικές ιδιότητες** των σωματιδίων είναι σημαντικές στη χρήση των ESP.



Επιλογή συστήματος συλλογής: Γενικοί κανόνες (II)

- Για μη κολλώδη σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης από **5 μm** ένας **κυκλωνικός διαχωριστής** είναι πιθανόν η καλύτερη επιλογή.
- Για σωματίδια μικρότερα από **5 μm** μπορεί να εξεταστούν τα **ESP**, τα **σακόφιλτρα** και οι **πλυντρίδες**.
- Για μεγάλες ογκομετρικές παροχές αερίων η **πτώση πίεσης** στις πλυντρίδες τις κάνει μάλλον ακριβές συσκευές.
- Η **αντίσταση στη διάβρωση των υλικών** (ιδιαίτερα στις πλυντρίδες) και το σημείο δρόσου των οξέων θα πρέπει πάντοτε να ληφθούν υπόψη.
- Οι πλυντρίδες Venturi είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες συσκευές συλλογής σωματιδίων.



Ανασκόπηση

- Ποιος ή ποιοι είναι οι κυρίαρχοι μηχανισμοί συλλογής σωματιδίων για κάθε μία από τις συσκευές συλλογής σωματιδίων;
- Εξηγήστε εν συντομία πως δουλεύει κάθε μηχανισμός και συζητήστε την επίδραση στην απομάκρυνση των σωματιδίων.

1) Θάλαμοι βαρυτικής καθίζησης

Χρησιμοποιούν μόνο τη δύναμη της **βαρύτητας** για την απομάκρυνση των σωματιδίων.

Για το λόγο αυτό μπορούν να απομακρύνουν μόνο τα πολύ μεγάλα σωματίδια (περίπου $>50 \mu\text{m}$).

2) Κυκλώνες

Λειτουργούν με το μηχανισμό της **αδράνειας**. Αναγκάζουν το αέριο ρεύμα να περιστραφεί με κυκλωνικό τρόπο, το οποίο οδηγεί τα σωματίδια έξω από τη δίνη, κτυπούν στα τοιχώματα και μαζεύονται στον πυθμένα.

Οι κυκλώνες μπορούν να απομακρύνουν αποδοτικά μόνο τα σωματίδια μεγέθους $>5 \mu\text{m}$.

3) Πλυντρίδες

Τα σωματίδια συλλέγονται στις σταγόνες με τους μηχανισμούς της **αδρανειακής πρόσκρουσης** και της **ανάσχεσης**.

Η απόδοση εξαρτάται από τον τύπο της πλυντρίδας (και της ισχύος που καταναλώνεται). Γενικά, έχουν τουλάχιστον 95% απόδοση για σωματίδια μεγέθους $>3 \mu\text{m}$.



Ανασκόπηση (II)

- Ποιος ή ποιοι είναι οι κυρίαρχοι μηχανισμοί συλλογής σωματιδίων για κάθε μία από τις συσκευές συλλογής σωματιδίων;
- Εξηγήστε εν συντομία πως δουλεύει κάθε μηχανισμός και συζητήστε την επίδραση στην απομάκρυνση των σωματιδίων.

4) Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές

Χρησιμοποιούν ηλεκτρικά πεδία υψηλού δυναμικού για να φορτίσουν τα σωματίδια που κινούνται μέσα στο πεδίο. Τα κορεσμένα με φορτία σωματίδια κινούνται προς τις πλάκες συλλογής.

Η απόδοσή τους εξαρτάται από την ειδική ηλεκτρική αντίσταση (εξαρτάται από την θερμοκρασία και τη χημική σύστασή τους) και το μέγεθος της σκόνης. Μεγαλύτερη απόδοση τα σωματίδια με μέση ηλεκτρική αντίσταση.

5) Σακόφιλτρα

Χρησιμοποιούν ποικιλία μηχανισμών: αδρανειακή πρόσκρουση, ανάσχεση, διάχυση Brown, οι κυριότεροι. Αλλά, και το συσσωρευμένο στρώμα λειτουργεί ως μέσο διήθησης.

Λόγω των πολλών μηχανισμών οι συσκευές αυτές είναι ιδιαίτερα αποδοτικές για όλες τις περιοχές σωματιδίων.



Ανασκόπηση

- Τα **αιωρούμενα σωματίδια (PM)** είναι από τις κύριες μορφές ρύπανσης και εκπέμπονται από πολλές βιομηχανικές, κινητές, οικιακές, ακόμη και από φυσικές πηγές.
- **Ποικιλία συσκευών**, με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και διαφορετικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Οι θάλαμοι **βαρυτικής καθίζησης, οι κυκλώνες και τα ESP** λειτουργούν με το να οδηγούν τα σωματίδια σε μία στερεό τοίχο όπου δημιουργούν συσσωματώματα τα οποία μπορούν να συλλεχθούν ευκολότερα. Έχουν παρόμοιες σχεδιαστικές εξισώσεις.
- Τα φίλτρα και οι πλυντρίδες υποδιαιρούν τη ροή. Έχουν διαφορετικές σχεδιαστικές εξισώσεις με τις προηγούμενες συσκευές, αλλά και μεταξύ τους.
- Για να συλλεχθούν τα λεπτότερα σωματίδια, μία πλυντρίδα θα πρέπει να παρουσιάζει **μεγάλη σχετική ταχύτητα μεταξύ του αερίου που είναι να καθαριστεί και των σταγόνων του νερού**. Οι πλυντρίδες venturi (ομορροή) είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συσκευές.



Παράδειγμα 1:

Ένας ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής (ΗΚ) απαρτίζεται από 2 ίδια τμήματα εν παραλλήλω, και το καθένα επεξεργάζεται τη μισή παροχή του αερίου, με απόδοση 95%. Λόγω τεχνικών προβλημάτων τα 2/3 της συνολικής παροχής διέρχονται από το ένα τμήμα και το 1/3 από το άλλο. Ποια θα είναι η νέα συνολική απόδοση;

Λύση: Όταν λειτουργούσε κανονικά ο ΗΚ:

$$p = 0,05 = \exp\left(-\frac{wA}{Q}\right) \Rightarrow \frac{wA}{Q} = -\ln 0,05 = 2,995$$

Με την νέα κατάσταση:

$$p_1 = \exp\left(-\frac{wA}{Q_1}\right) = \exp\left(-2,995 \frac{1/2}{2/3}\right) = 0,1058$$

$$Q_1 p_1 = \frac{2}{3} Q 0,1058 = 0,071 Q$$

$$p_2 = \exp\left(-\frac{wA}{Q_2}\right) = \exp\left(-2,995 \frac{1/2}{1/3}\right) = 0,0112$$

$$Q_2 p_2 = \frac{1}{3} Q 0,0112 = 0,0037 Q$$

Προσθέτοντας

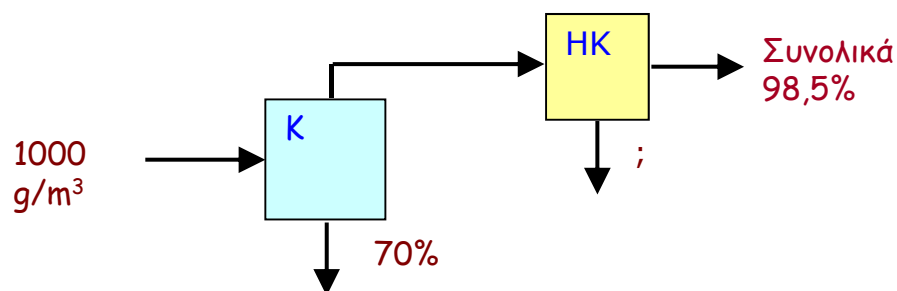
$$(Q_1 + Q_2)p = 0,074 Q \Rightarrow p = 0,075 \Rightarrow n = 1 - p = 0,925 \text{ (92,5\%)}$$



Παράδειγμα 2:

Ένα αέριο ρεύμα από μία βιομηχανία περιέχει $1000 \text{ g}/\text{m}^3$ αέρα. Η νομοθεσία επιβάλλει συνολική απόδοση 98,5%. Το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου αποτελείται από έναν κυκλώνα (απόδοση 70%) ακολουθούμενο από ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο. Να υπολογιστεί (α) ποια είναι η επιτρεπόμενη συγκέντρωση των σωματιδίων και (β) ποια είναι η απόδοση του ΗΚ.

Λύση: Το σύστημα μπορεί να παρασταθεί

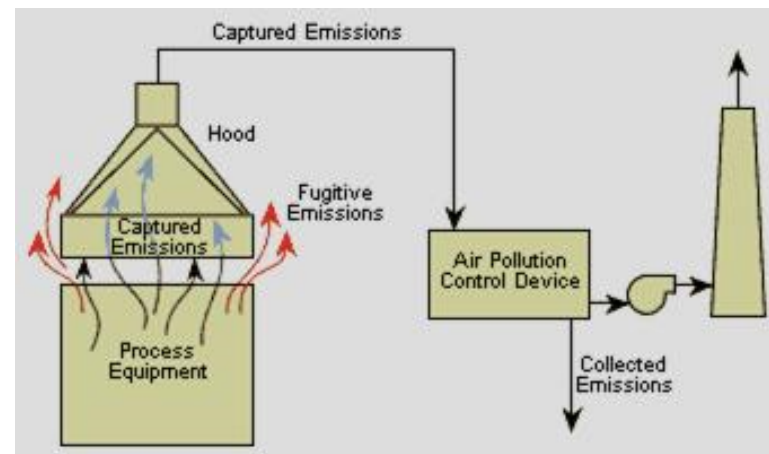


$$(α) C_{out} = (1 - 0,985) \times 1000 = 15 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$(β) \text{ Είσοδος στον ΗΚ: } C_{in, esp} = 1000 \times (1 - 0,70) = 300 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$n_{ESP} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} = \frac{300 - 15}{300} = 0,95$$

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

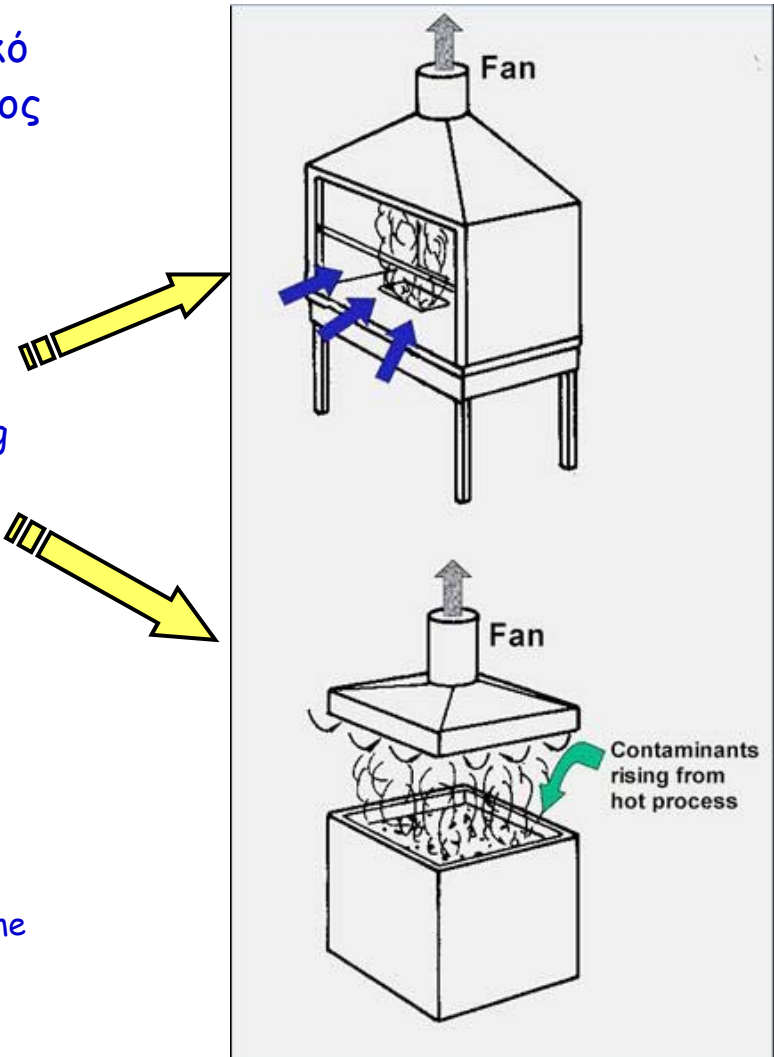


Cooper & Alley: Κεφάλαιο 8



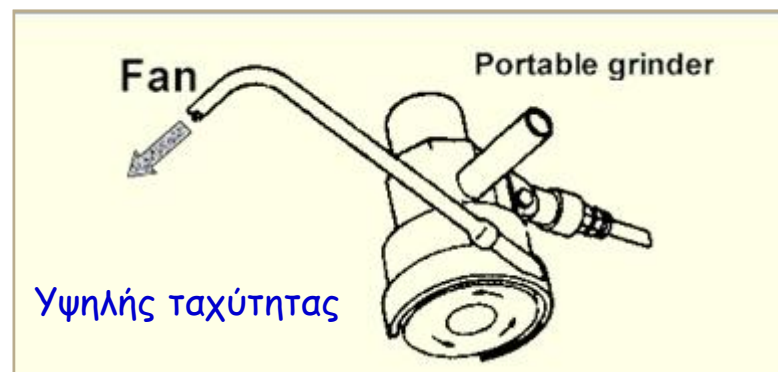
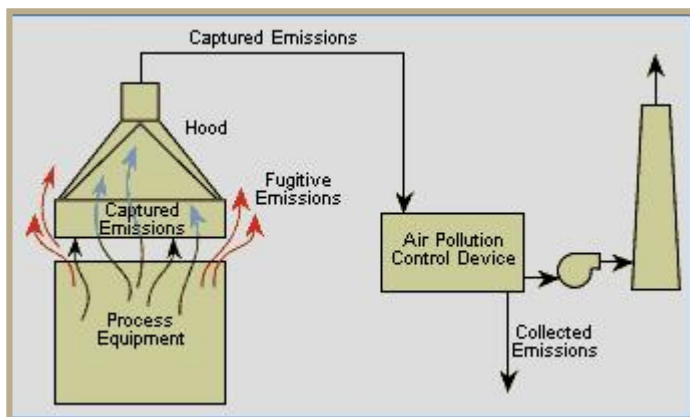
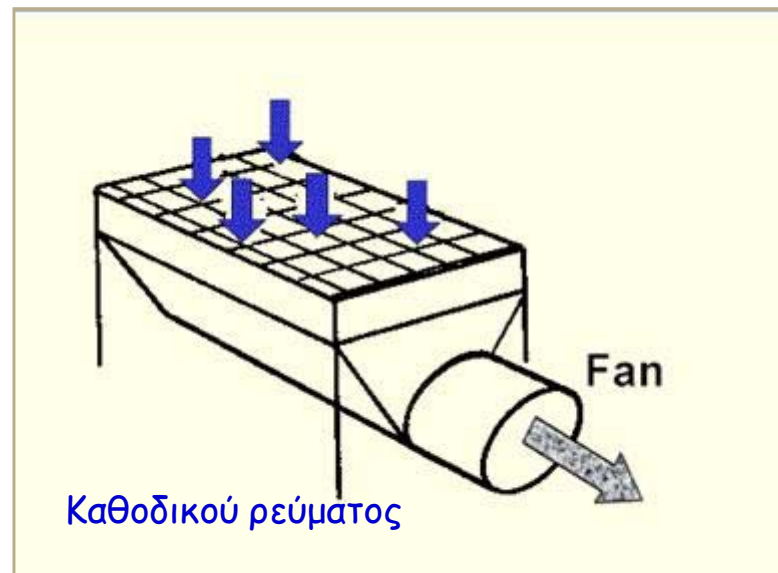
1. Αεριοσυλλέκτες - Απαγωγοί (hoods)

- Χρησιμοποιούνται για να συλλέγουν το ρυπαντικό φορτίο από τον αέρα του χώρου εργασίας. Κόστος ~ παροχής.
- Τρεις βασικοί τύποι:
 - 1) Απαγωγοί με κλειστά καλύμματα (enclosure hoods): απομακρύνει ρυπαντές που εκπέμπονται μέσα στον απαγωγό.
 - 2) Απαγωγοί τύπου στεγάστρου (canopy hoods, Receiving hood): συλλαμβάνει τους ρύπους που πλησιάζουν σε αυτόν. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για επικίνδυνα συστατικά.
 - 3) Απαγωγοί σύλληψης (Capturing hoods): οι ρύποι έλκονται - κατευθυνόμενα ρεύματα.
 - 4) Απαγωγοί σχισμής. Με μεγάλου μήκους, στενά ορθογώνια ανοίγματα.
 - 5) Καθοδικού ρεύματος (Downdraft hood)
 - 6) Υψηλής ταχύτητας-μικρού όγκου (High velocity, low volume hood)



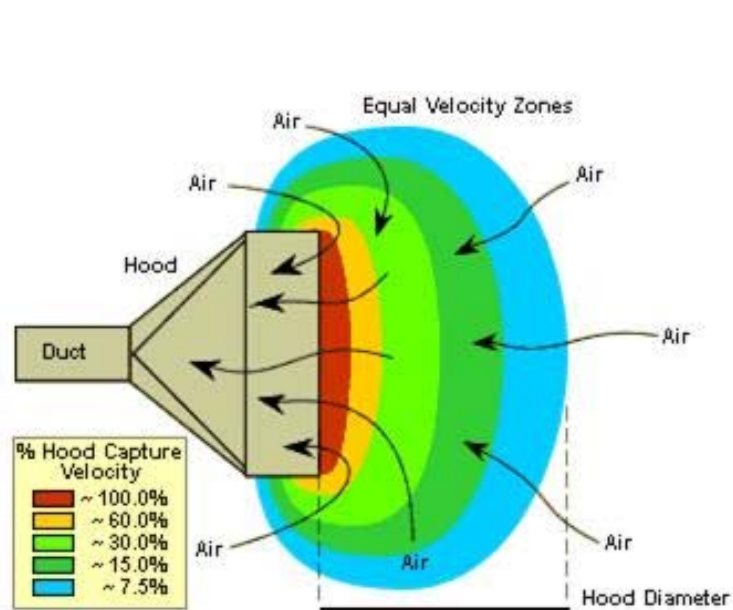


Αεριοσυλλέκτες - Απαγωγοί (hoods)

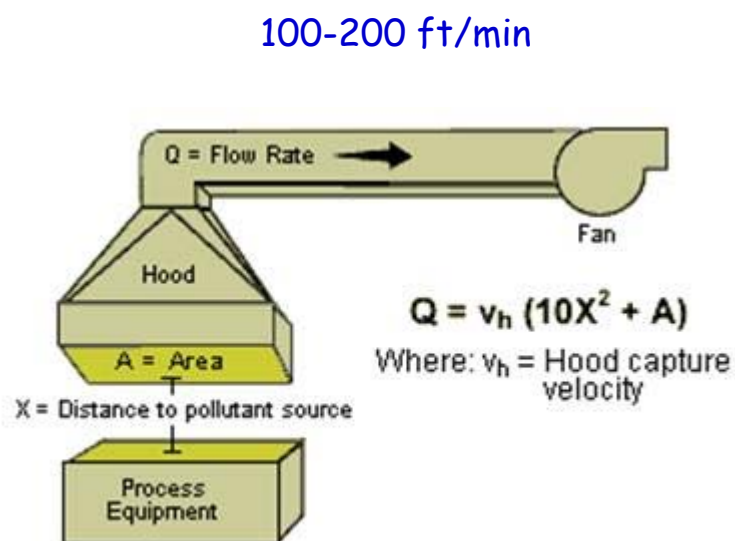




Αεριοσυλλέκτες: Παροχή και απόσταση από τον απαγωγό



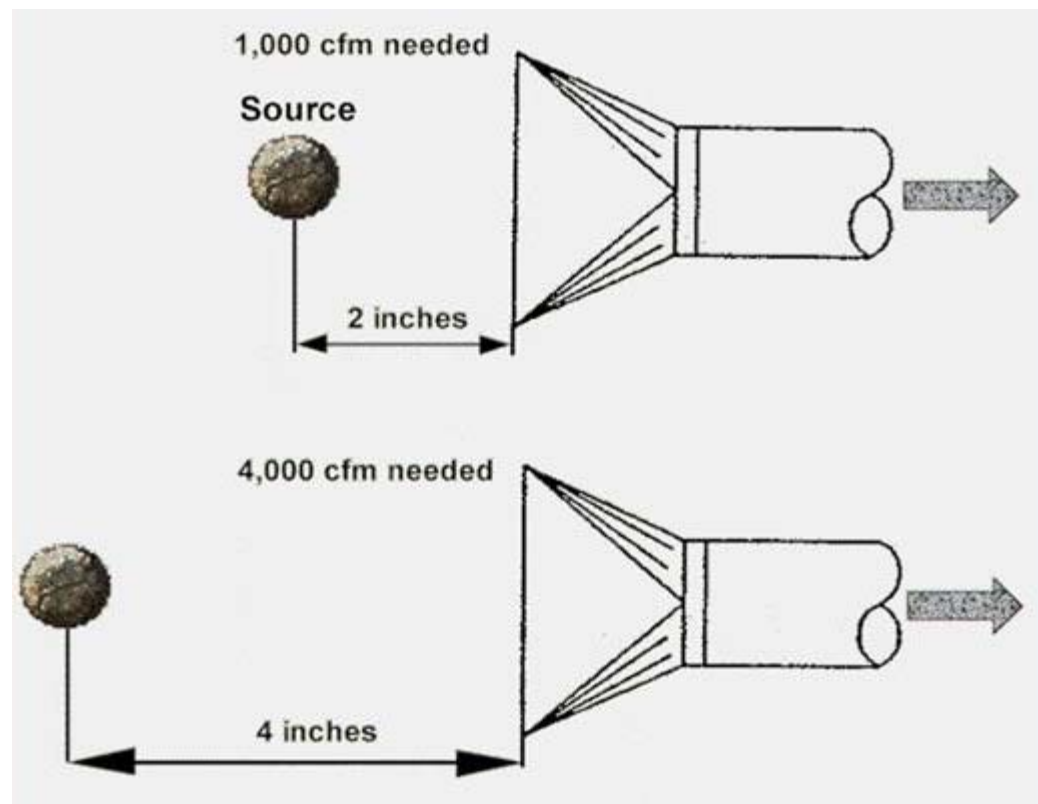
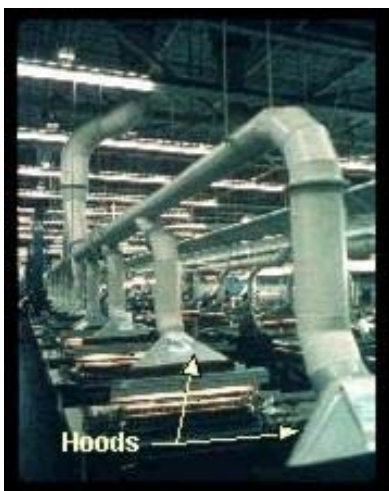
Ταχύτητες σύλληψης κοντά στον απαγωγό



Εξίσωση ταχύτητας σύλληψης.



Αεριοσυλλέκτες: Παροχή και απόσταση από τον απαγωγό



Η θέση του απαγωγού είναι κοντύτερα στην πηγή ρύπανσης. Ο απαιτούμενος όγκος εξαρτάται με το τετράγωνο της απόστασης.



Αεριοσυλλέκτες: τύπου στεγάστρου

- Χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση θερμού αέρα ή της υπερβάλλουσας υγρασίας
- Χαμηλότερες παροχές από του απαγωγούς σύλληψης
- Για χαμηλούς κυκλικούς αεριοσυλλέκτες:

$$Q_h = 4,7(D_h)^{2,33}(\Delta T)^{0,417}$$

Q_h : παροχή στην έξοδο (cfm)

D_h : διάμετρος αεριοσυλλέκτη (ft)

ΔT : διαφορά T ανάμεσα στην θερμή πηγή και στον αέρα (F)

- Για χαμηλούς ορθογώνιους αεριοσυλλέκτες:

$$Q_h = 6,2(L)(W)^{1,33}(\Delta T)^{0,417}$$

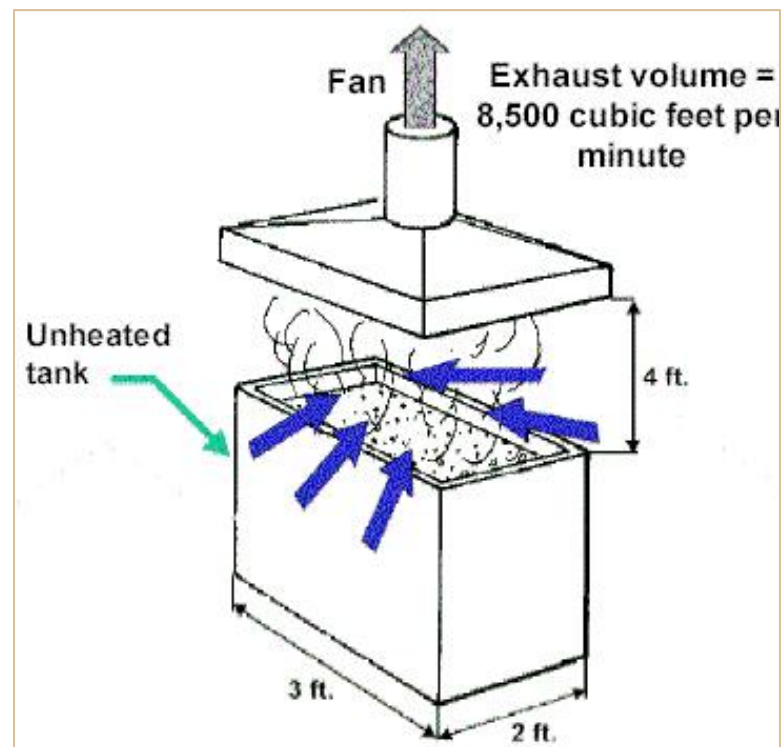
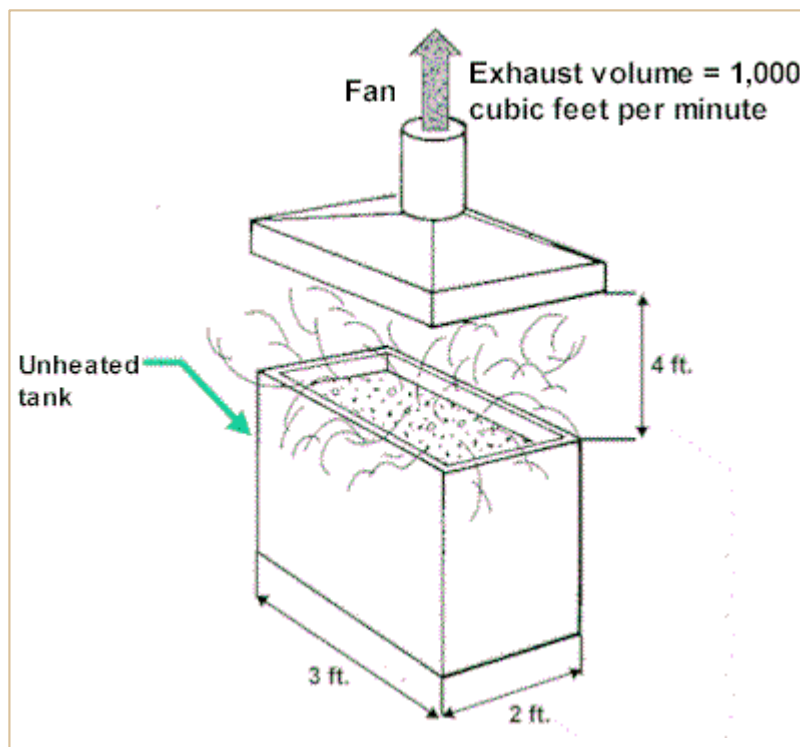
W : πλάτος (ft)

L : μήκος (ft)

Μεγαλύτερα κατά 1-2 ft από τις διαστάσεις της πηγής



Αεριοσυλλέκτες: Παροχή και απόσταση από τον απαγωγό



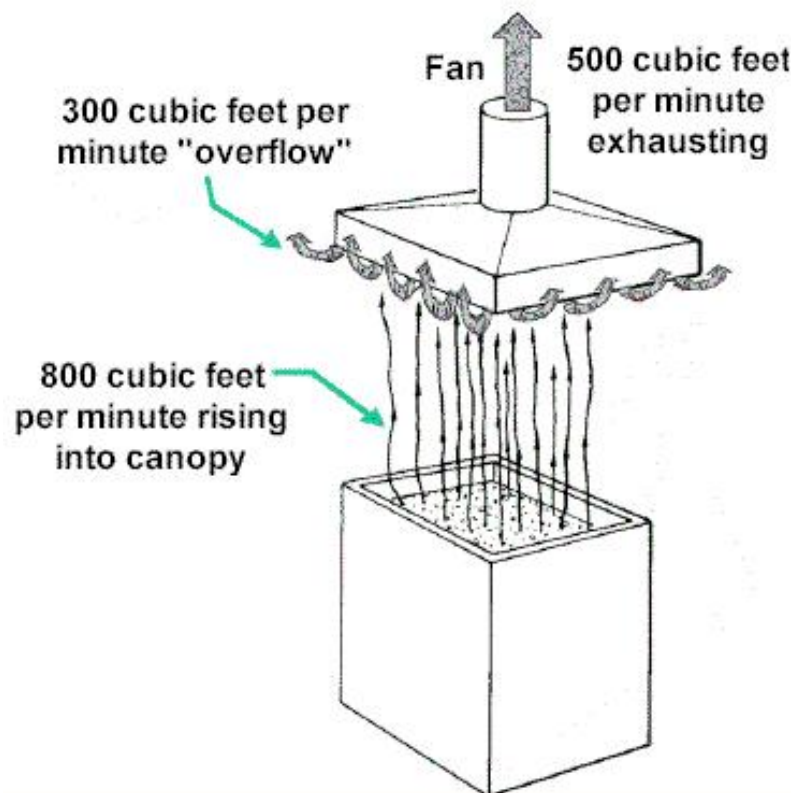
Ένας απαγωγός στεγάστρου απαιτεί ικανή παροχή αέρα για να συλλάβει τους ρύπους έξω από τον απαγωγό.

(α) Οι απαγωγός αυτός δεν μπορεί να συλλέξει τους ατμούς από το δοχείο.

(β) Η παροχή αυξάνεται κατά 850% για να γίνει δυνατή η σύλληψη όλων των ατμών.



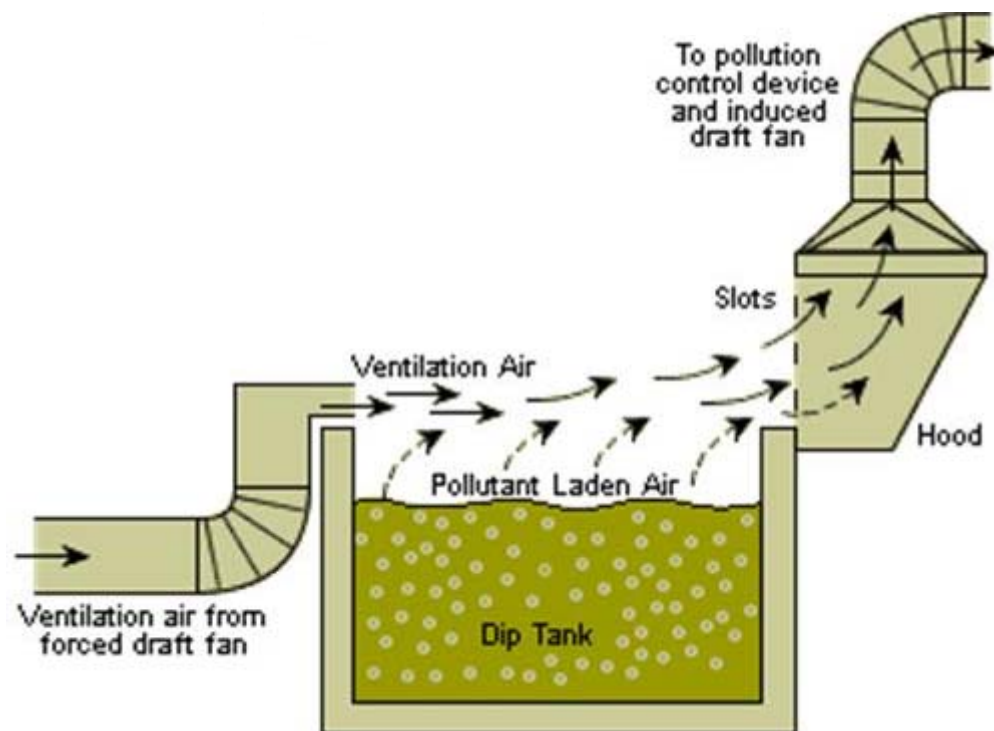
Αεριοσυλλέκτες: Παροχή και απόσταση από τον απαγωγό



Το «ξεχείλισμα» των ρύπων γίνεται όταν ένας απαγωγός στεγάστρου δέχεται περισσότερο αέρα από όσο μπορεί να μεταφέρει.



Αεριοσυλλέκτες «ώθησης/έλξης» (push-pull hood)





2. Αγωγοί (ducts, piping)

- Μεταφέρουν το ρυπασμένο αέρα στον εξοπλισμό και από εκεί στον ανεμιστήρα και την καπνοδόχο.

- Τύποι:

- 1) Ψυχόμενοι με νερό

- 2) Επενδεδυμένοι με πυρίμαχο υλικό

- 3) Ανοξειδωτου χάλυβα (για θερμοκρασίες αερίων 620-820 °C ή για διαβρωτικά αέρια)

- 4) Ανθρακούχου χάλυβα (για θερμοκρασίες αερίων <620 °C)

- 5) Πλαστικά (σε χαμηλές θερμοκρασίες)

- Κύρια παράμετρος: πτώση πίεσης, κυρίως λόγω τριβής με τα τοιχώματα.

- $\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{fr}} + \Delta P_{\text{acc}} + \Delta P_{\text{gr}}$

Λόγω
επιτάχυνσης

Λόγω βαρύτητας



Αγωγοί (ducts, piping)



Όλες οι τεχνολογίες αντιρρύπανσης απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο σύστημα αγωγών και εξαρτημάτων.



Αγωγοί (ducts, piping)

- Πτώση πίεσης λόγω τριβών σε ευθύγραμμο αγωγό, ΔP_{fr}

$$\Delta P = 2f \frac{\rho U^2}{D} \Delta L$$

D =υδραυλική διάμετρος ($=4A/P$)
 f =Συντελεστής τριβής Fanning
Συντελεστής Darcy $f_D=4 f$

- Πτώση πίεσης λόγω συστολών, διαστολών, εξαρτημάτων κτλ.:

$$\Delta P_c = K_c \frac{\rho U^2}{2}$$

K_c συντελεστής απωλειών, διαφορετικός για κάθε γεωμετρία (και Re)

Μία άλλη προσέγγιση να αντικαθίσταται κάθε εξάρτημα με ένα ισοδύναμο μήκος αγωγού.

- ΔP_{acc}

$$\Delta P_{acc} = \frac{G^2}{\rho_{av}} \ln \frac{p_1}{p_2}$$

G =μαζική παροχή

- ΔP_{gr}

$$\Delta P_{gr} = \rho g h$$



Αγωγοί (ducts, piping)

Ισοδύναμο μήκος εξαρτημάτων για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης για τυρβώδη ροή σε κυκλικό αγωγό

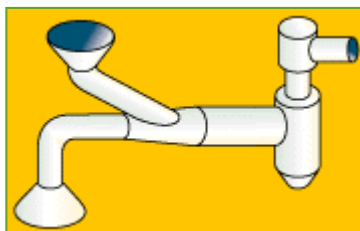
Είδος εξαρτήματος	K	Ισοδύναμο μήκος ευθύγραμμου αγωγού, L_e/D
Γωνία 90°	0,9	20
Γωνία 45°	0,45	10
Ταυ	2,0	45
Διακλάδωση 45°	2	18
Βάνα τύπου πύλης (ανοικτή)	0,3	9
Βάνα τύπου πύλης (μισο-ανοικτή)	10	225
Μετρητικό ροής	15	350



Αρχές σχεδιασμού σωληνώσεων

Σύνδεση και τοποθέτηση των αγωγών έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η τύρβη και η αντίσταση στη ροή.

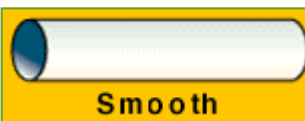
Σωστό



Λάθος



Λείος, άκαμπτος αγωγός έχει λιγότερη αντίσταση από εύκαμπτο, τραχύ αγωγό.



Smooth



Corrugated

Τα μικρά τμήματα έχουν μικρότερη αντίσταση από τα επιμήκη.



Short



Long

Τα ευθύγραμμα τμήματα έχουν μικρότερη από τα λυγισμένα.



Straight



Elbowed



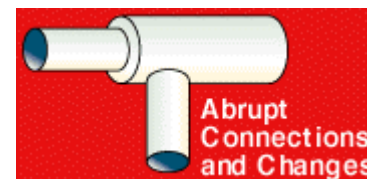
Αρχές σχεδιασμού σωληνώσεων

Οι παρακάμψεις να ενώνονται ομαλά (μικρή γωνία) και όχι με ορθή.
Οι παρακάμψεις δε θα πρέπει να ενώνονται στον κύριο αγωγό στο ίδιο σημείο.

Σωστό



Λάθος



Οι γωνίες με βαθμιαία κάμψη έχουν μικρότερη αντίσταση από τις ορθές γωνίες.



Οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου έχουν μικρότερη πτώση πίεσης από τους αγωγούς μικρής διαμέτρου.



Οι κυκλικής διατομής αγωγοί έχουν μικρότερη αντίσταση από αυτούς με τετραγωνική διατομή.



Υλικά για πλυντρίδες



Table 8-1. Pipe materials for scrubber systems—advantages and disadvantages		
Material	Advantages	Disadvantages
<i>Metals</i>		
Cast iron	Flanged, threaded, or welded	Not resistant to corrosion
Steel	Inexpensive	
Stainless steel	Easy to cut and install on site	
Copper alloys		
<i>Metal pipe linings</i>		
Hard rubber	Good resistance to many strong acids and alkalis	Cannot be cut to size on site
Soft rubber	Resists abrasion	Must be precisely manufactured
Glass	Resists acid and alkali attack	Fragile
Thermoplastic	Resists corrosion	Not as abrasion resistant as rubber or stainless steel
PVC	Easily site-installed	
Polyethylene	Good resistance to temperature and stress	
Polypropylene		
<i>Nonmetals</i>		
Plastic	Resists corrosion	May not be as heat resistant as other materials
Fiberglass-reinforced pipe (FRP)	Resists chemical corrosion On-site installation	Less abrasion resistant than rubber-lined pipe Operates at higher temperatures than a solid plastic pipe

Adapted from Calvert et al. 1972.



3. Ανεμιστήρες (fans)

- Οι ανεμιστήρες παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την μετακίνηση του αέρα μέσω των αεριοσυλλεκτών, αγωγών και εξοπλισμού.
- Δύο είναι οι κυριότεροι τύποι ανεμιστήρων: **οι φυγοκεντρικοί και οι αξονικοί.**
- Οι περισσότεροι ανεμιστήρες στις τεχνολογίες αντιρρύπανσης είναι **φυγοκεντρικοί.**
- Στην επιλογή χρειάζεται η ογκομετρική παροχή του αέρα που θα μεταφερθεί, Q , και η πτώση πίεσης, ΔP , ή «υψομετρική διαφορά», H , που θα πρέπει να αναπτυχθεί για να ξεπεραστούν οι απώλειες της πίεσης της ροής.

$$\dot{W}_f (W) = Q \left(\frac{m^3}{s} \right) \Delta P (Pa)$$

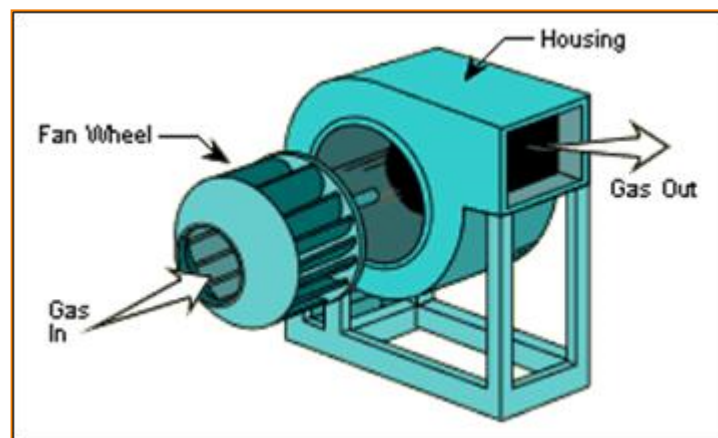
- Με αυτές τις παραμέτρους υπολογίζονται η διάμετρος, D , και ο αριθμός στροφών, N .
- Άλλες παράμετροι: το είδος της σκόνης



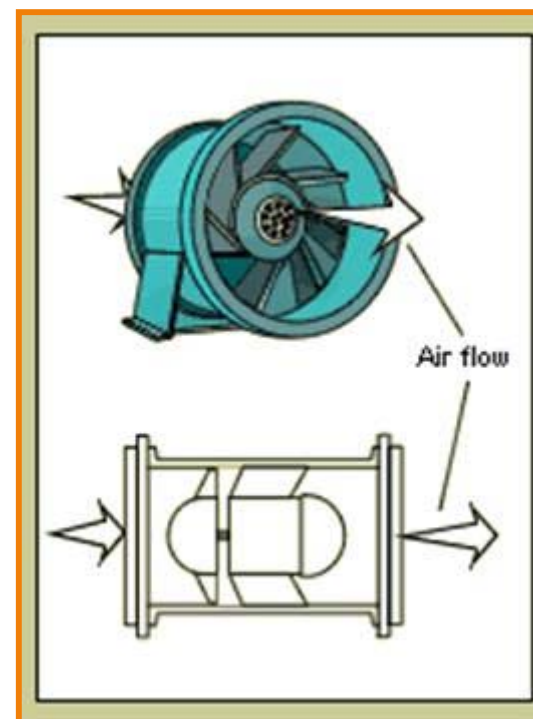
Ανεμιστήρες (fans)

Σε ένα **φυγοκεντρικό ανεμιστήρα**, ο αέρας εισέρχεται από την πλήμνη του στροφείου, περιστρέφεται σε ορθές γωνίες και επιταχύνεται και συμπιέζεται από τη φυγόκεντρο δύναμη στην εκροή.

Τα κυριότερα τμήματά του είναι: ο **τροχός (περιστρεφόμενο τμήμα)**, η **κατασκευή**, ο **μηχανισμός οδήγησης** και ο **ρυθμιστής ροής** στην είσοδο ή την έξοδο (dampers).



Σε έναν **αξονικό ανεμιστήρα**, ο αέρας ρέει ευθύγραμμα μέσω της συσκευής κατά μήκος του άξονα περιστροφής. Τα πτερύγια με αεροτομή έλκουν το αέρα μέσα προς το χείλος πρόσπτωσης και τον εκτονώνουν από το χείλος εκφυγής.





Ανεμιστήρες (fans)



Ανεμιστήρας

Με ροές από 3 μέχρι 3000 m³/min οι ανεμιστήρες μπορούν να κατασκευαστούν από FRP, ανοξείδωτο χάλυβα και διάφορα κράματα. Το εσωτερικό των ανεμιστήρων συχνά επικαλύπτεται με υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση.



Ανεμιστήρες (fans)



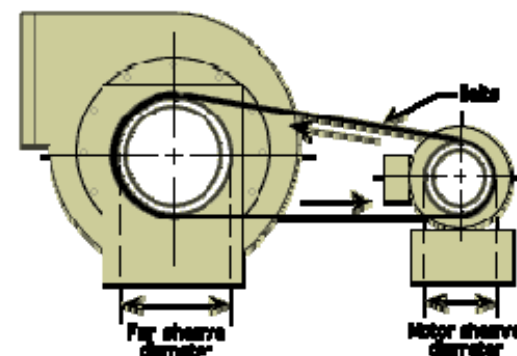
Ρυθμιστής ροής (dampers).



Ανεμιστήρες (fans)

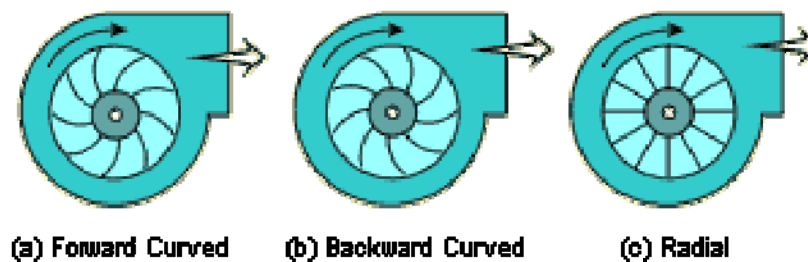
Ο μηχανισμός οδήγησης καθορίζει τη ταχύτητα του τροχού του ανεμιστήρα και της περιοχής που αυτή κυμαίνεται. Οι τύποι του μηχανισμού οδήγησης κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Άμεση οδήγηση (ταχύτητα του κινητήρα = ταχύτητα τροχού)
- Με ιμάντα
- Μεταβλητής οδήγησης



Ο τροχός αποτελείται από την πλήμνη και σειρά πτερυγίων, τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν με διαφορετικό τρόπο:

- Καμπυλωμένα προς τα εμπρός
- Καμπυλωμένα προς τα πίσω
- Ακτινικά





4. Ψύξη θερμών αέριων ρευμάτων

Γιατί απαιτείται ψύξη των απαερίων; [απαίτηση, ανάκτηση θερμότητας, μείωση όγκου]

Τι λύσεις έχουμε;

× Αραίωση με αέρα (υπέρ & κατά;)

Ισοζύγιο μάζας και ενέργειας

$$\dot{m}_{gas} H_{gas} + \dot{m}_{air} H_{air} = \dot{m}_{mix} H_{mix}$$

$$\dot{m}_{gas} + \dot{m}_{air} = \dot{m}_{mix}$$

$$Q_{air} = Q_{gas} \left(\frac{T_{gas} - T_{mix}}{T_{mix} - T_{air}} \right) \frac{T_{air}}{T_{gas}}$$

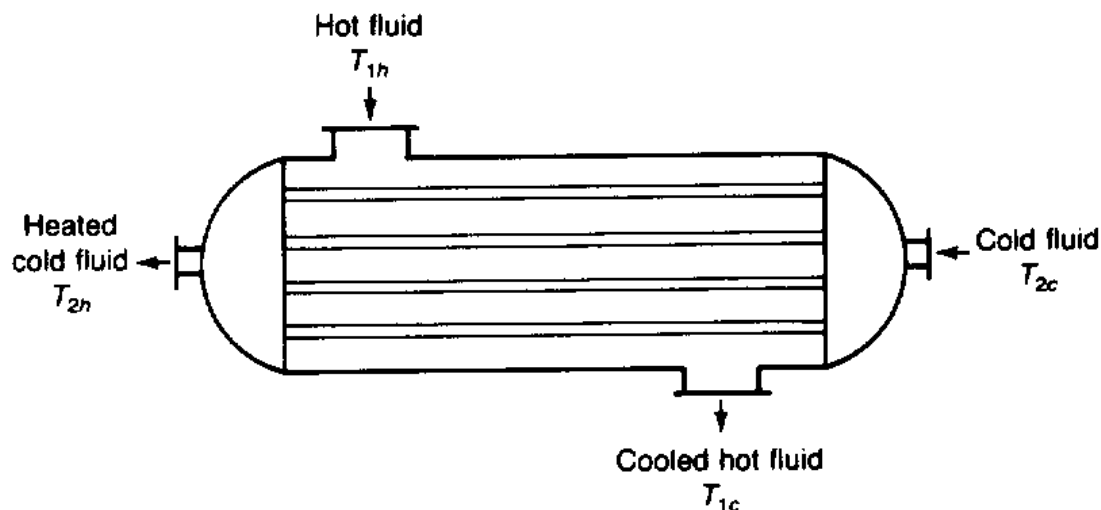
× Έγχυση νερού (υπέρ & κατά;)



Ψύξη θερμών αέριων ρευμάτων

- × **Εναλλάκτης θερμότητας:** σύστημα αγωγών που μεταφέρουν θερμότητα με συναγωγή και ακτινοβολία.

Εναλλάκτης
αυλών και
κελύφους
(Shell-and-
tube heat
exchanger)



$$\dot{H}_1 = \dot{M}_1 c_{p1} (T_{1h} - T_{1c})$$
$$\dot{H}_2 = \dot{M}_2 c_{p2} (T_{2h} - T_{2c})$$
$$\dot{H}_x = UA \Delta T_{LM}$$

H_1 : Θερμορροή που δίνεται από το θερμό ρεύμα
 H_2 : Θερμορροή που απορροφείται από το ψυχρό ρεύμα
 H_x : Θερμορροή που μεταφέρεται
 U : συνολικός συντ. μεταφοράς θερμότητας
 A : επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας
 ΔT_{LM} : μέση λογαριθμική διαφορά θερμοκρασίας



Εναλλάκτης Θερμότητας:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x_w}{k_m} + \frac{1}{h_i}}$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{1h} - T_{2h}) - (T_{1c} - T_{2c})}{\ln\left(\frac{T_{1h} - T_{2h}}{T_{1c} - T_{2c}}\right)}$$

h_o : συντ. μεταφοράς θερμότητας (εξωτ. σωλήνας)

h_i : συντ. μεταφοράς θερμότητας (εσωτ. σωλήνας)

x_w : πάχος τοιχώματος αγωγού

k_m : θερμική αγωγιμότητα αγωγού



5α. Άλλα θέματα (μετρητικές αντλίες)



Υπάρχουν διάφορα είδη μετρητικών αντλιών που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμός με τις πλυντρίδες: τύπου διαφράγματος που ενεργοποιούνται υδραυλικά, τύπου σωληνοειδούς και περισταλτικές.



5β. Άλλα θέματα (αισθητήρες)



Απαραίτητα τμήματα ενός συστήματος αντιρρύπανσης: μετρητικά πίεσης, θερμόμετρα, πεχάμετρο, μετρητές και ρυθμιστές στάθμης, κ.ά.



5γ. Άλλα θέματα (σύμβολα σε διάγραμμα ροής)

Figure 1. Material Stream Symbols

	Utility Stream
	Solid or Liquid Stream
	Gas Stream

Figure 2. Major Equipment Symbols

	Fan
	Hood
	Major Equipment
	Stack

Figure 3. Identification of Emission Points

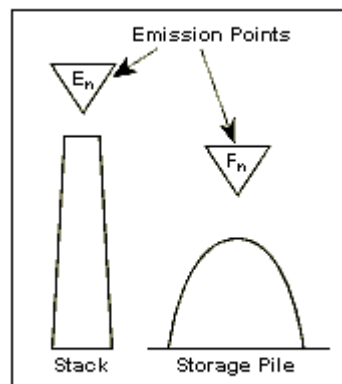


Figure 4. Minor Component Symbols

	Pump
	Valve (Manual)
	Valve (Automatic)
	Damper
	Heat Exchanger
	Nozzles

Table 1. Codes for Utility Streams

Cal	- Compressed calibration gas
CA	- Compressed air
CD	- Condensate
CW	- City (or plant) fresh water
Gas	- Natural gas
HS	- High pressure steam
IA	- Instrument air
LS	- Low pressure steam
Oil	- No. 2 or No. 6 oil

Figure 5. Gauge Symbols

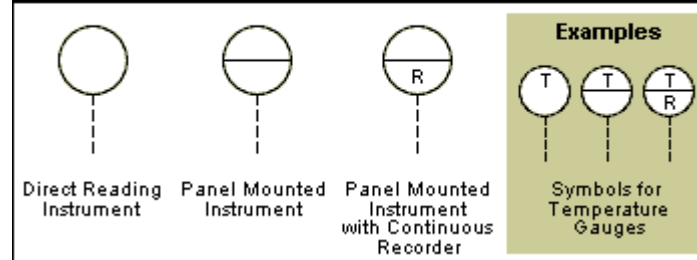


Table 4. Codes for Construction Materials

CS	- Carbon steel
FRP	- Fiberglass reinforced plastic
N	- Nickel alloy
RL	- Rubber lined
SS	- Stainless steel
WD	- Wood

www.epa.gov/eogapti1/module5/flowcharts/symbols/symbol.htm#flowchart