



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

MM900

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

2^η ΕΝΟΤΗΤΑ, Μέρος 3 Σακόφιλτρα

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



Cooper & Alley: Κεφάλαιο 6

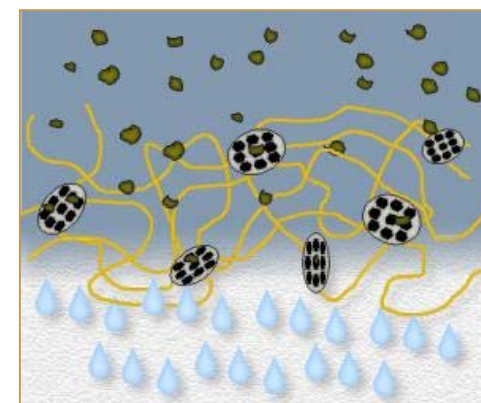
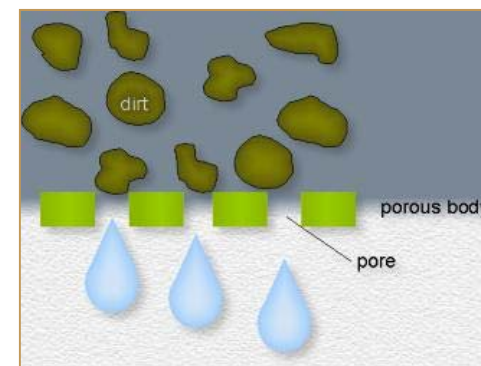
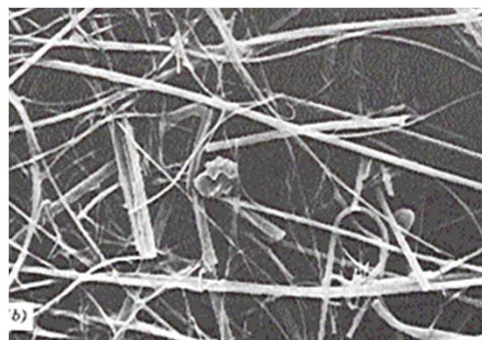
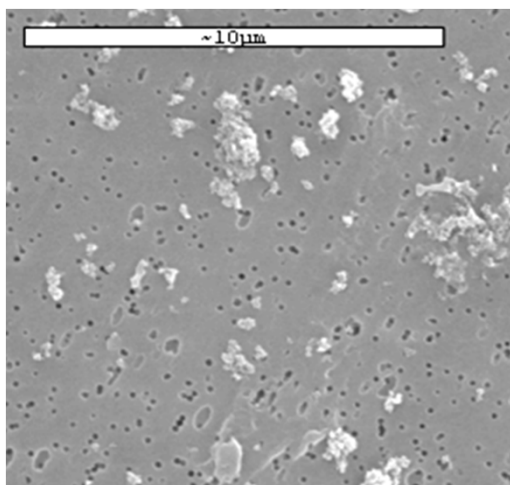


Εισαγωγή

- **Κυκλώνες, ESP, βαρυτικοί συλλέκτες:** συλλέγουν τα σωματίδια οδηγώντας τα εναντίον ενός στερεού τοίχου
- **Φίλτρα και πλυντρίδες:** «υποδιαιρούν» τη ροή ώστε να περνάει από στενά μέρη όπου μπορούν να συλληχθούν τα σωματίδια

Φίλτρα:

- **Επιφανειακά (surface):** π.χ. φίλτρο καφέ, σήτα, υφασμάτινο φίλτρο
- **Βαθιά (depth):** φίλτρο άμμου, με χαλίκια κτλ.





Εισαγωγή

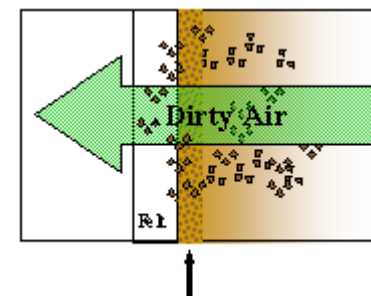
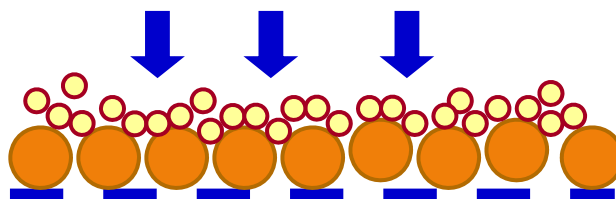
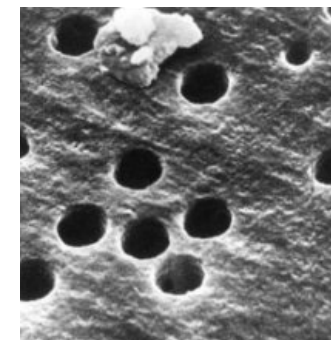
Φίλτρα:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης;
- Μπορούμε να έχουμε «τρύπες» μεγέθους $0,1 \mu\text{m}$ ή η απόσταση των ινών να είναι μικρότερη από $0,1 \mu\text{m}$;

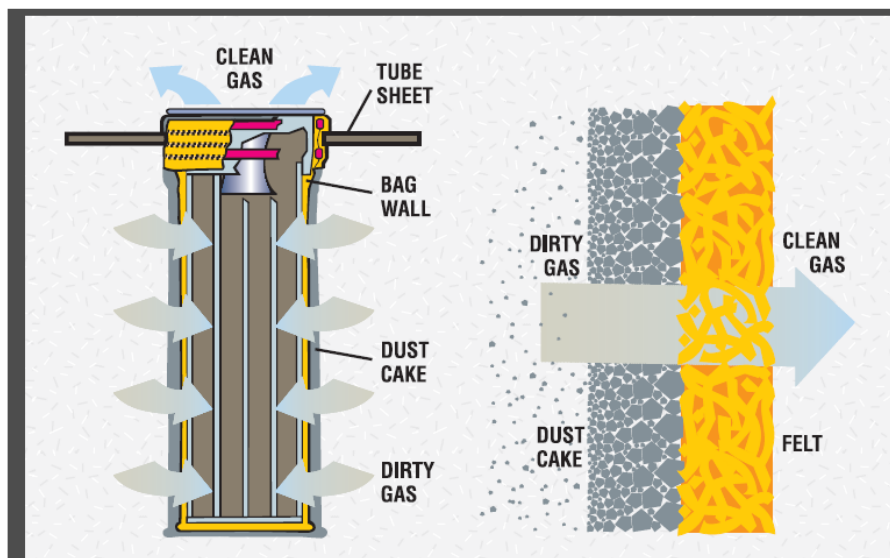
Τέτοια φίλτρα (μεμβράνες) βρίσκουν αναλυτική χρήση, αλλά όχι βιομηχανική.

Πως επιτυγχάνεται όμως η συλλογή στα φίλτρα:

Καθώς τα σωματίδια παγιδεύονται ανάμεσα στις ίνες, τείνουν να γεφυρώσουν τα ανοίγματα και τα κάνουν μικρότερα. Έτσι καθώς η ποσότητα των σωματιδίων αυξάνει, το στρώμα που σχηματίζεται λειτουργεί από μόνο του ως φίλτρο και το αρχικό ύφασμα ουσιαστικά στηρίζει το στρώμα αυτό. Τα σωματίδια συλλέγονται στην εμπρόσθια επιφάνεια του αναπτυσσόμενου στρώματος = **επιφανειακό φίλτρο**.

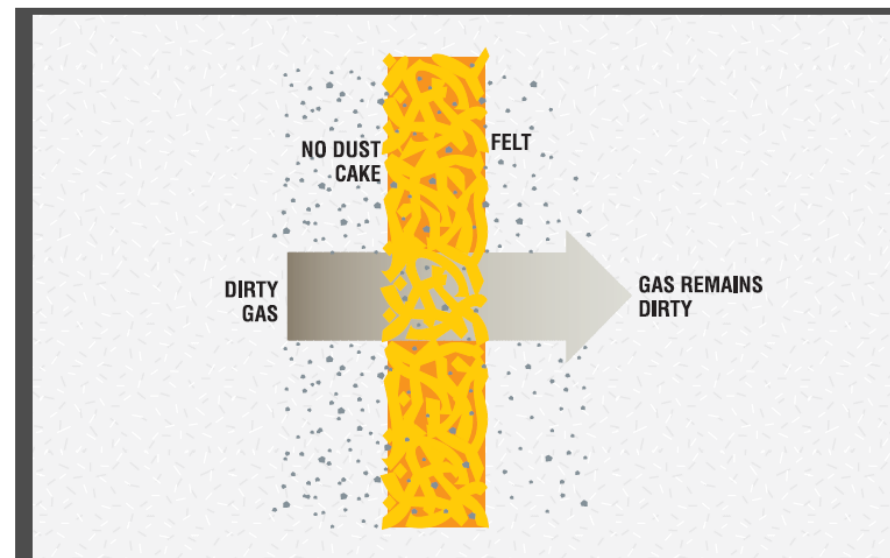


Εισαγωγή



FILTERING FUNCTION OF DUST CAKE

F3



FELT WITHOUT A DUST CAKE FILTERS POORLY

F4

Πηγή: http://www.astecinc.com/images/file/literature/T-139_Baghouse_Applications.pdf



Εισαγωγή - σακόφιλτρα

- Τα συστήματα υφασμάτων φίλτρων απομακρύνουν τη σκόνη από ένα αέριο ρεύμα μέσω ενός **πορώδους υφάσματος** και του **στρώματος της σκόνης** (filter cake) που συσσωρεύεται πάνω σε αυτό.
- Τα συστήματα αυτά συχνά αναφέρονται και ως «**σακόφιλτρα**» (**baghouses**), επειδή το ύφασμα διαμορφώνεται σε κυλινδρικούς σάκους εγκατεστημένους σε ειδική κατασκευή.
- Το καθαρό αέριο ρεύμα εξέρχεται από την **εξωτερική μεριά** του διηθητικού μέσου, ενώ η σκόνη συλλέγεται από την εσωτερική πλευρά και περιοδικά απομακρύνεται από το ύφασμα.
- Υπάρχουν πολλά **είδη υφασμάτων** που χρησιμοποιούνται, διαφορετικοί **τρόποι** ύφανσης, **μεγέθη** σάκων και **τρόποι** διαμόρφωσης των σάκων.
- Η χρήση σακόφιλτρων στις Α.Η.Μ. ξεκίνησε το **1975** και συνεχώς αυξάνεται (εις βάρος των ESP).



Απόδοση και Μηχανισμοί διήθησης

Η απόδοση ενός φίλτρου δίνεται

$$\eta = (N_{in} - N_{out}) / N_{in} \quad (\text{συλλογή σωματιδίων})$$

$$\eta_m = (C_{in} - C_{out}) / C_{in} \quad (\text{συλλογή μάζας})$$

Η «επιφανειακή» (φαινομενική) ταχύτητα του αέρα είναι:

$$V = \frac{Q}{A} \quad [Q = \text{ογκομετ. παροχή, } A = \text{επιφ. φίλτρου}]$$

[επίσης λέγεται και λόγος αέρα / υφάσματος, Air-To-Cloth Ratio, A/C]

Η πραγματική ταχύτητα είναι:

$$V_{act} = V / (1 - \alpha)$$

όπου $\alpha = \frac{\text{όγκος ινών}}{\text{συνολικός όγκος}} = 1 - \text{πορώδες}$

($\alpha = 0,001 - 0,2$, τυπική τιμή 0,01)

Η διείσδυση μειώνεται με το πάχος του στρώματος

$$P = e^{-\gamma t}$$

Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με 5 μηχανισμούς:

- Πρόσκρουση
- Ανάσχεση
- Διάχυση
- Βαρυτική καθίζηση
- Ηλεκτροστατική έλξη
-

Μηχανισμοί διήθησης: πρόσκρουση

Πρόσκρουση (ή ενσφήνωση-impaction):

- Εάν στη ροή ενός αέριου ρεύματος με σωματίδια παρεμβληθεί ένα αντικείμενο, τα μεγαλύτερα σωματίδια (λόγω αδρανείας) εκτρέπονται από τις ροϊκές γραμμές του αερίου, προσκρούουν στον ακινητοποιημένο αντικείμενο και, ενδεχομένως, μένουν προσκολλημένα σε αυτό.
- Η απόδοση συλλογής n_I δίνεται από:

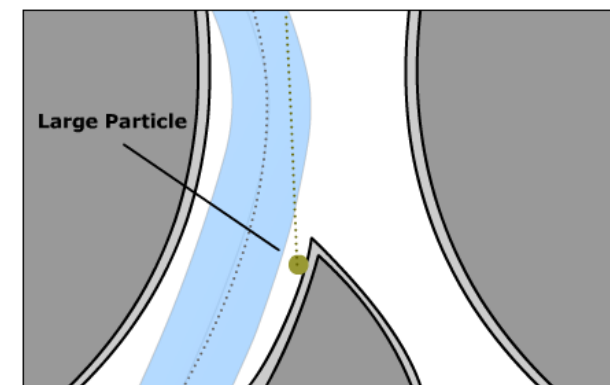
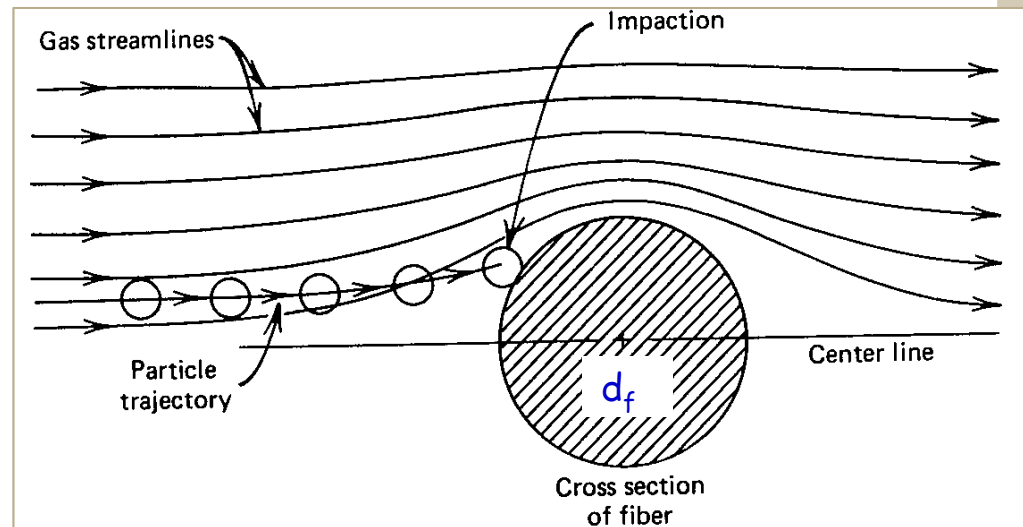
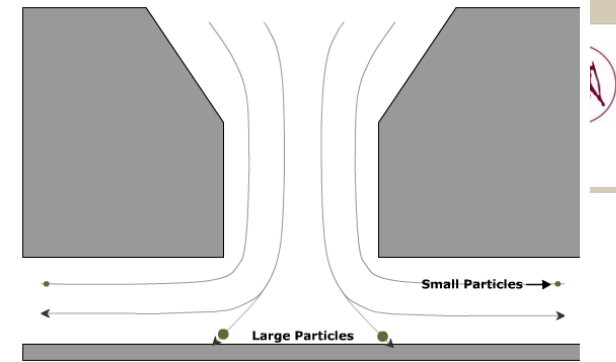
$$n_I = \frac{(Stk)J}{2Ku^2}$$

$$Stk = \frac{\tau U_0}{d_f} = \frac{\rho_p d_p^2 C_c U_0}{18\mu d_f}$$

$$J = (29,6 - 28\alpha^{0,62})R^2 - 27,5R^{2,8} \quad \text{για } R < 0,4$$

όπου $R = d_p/d_f$ (interception parameter) και $J=2$ for $R > 0,4$

Yeh, H.C. & Liu, B.Y.H., *J. Aerosol Sci.*, 5:191-217, 1974





Μηχανισμοί διήθησης: Ανάσχεση

Ανάσχεση (interception):

- Τα μεσαίου μεγέθους (μη-διαχεόμενα) σωματίδια ακολουθούν την κίνηση των μορίων (δεν προσκρούουν στο αντικείμενο), αλλά είναι δυνατόν να ακουμπήσουν στο αντικείμενο και να συγκρατηθούν από αυτό.
- Η απόδοση συλλογής n_R δίνεται από:

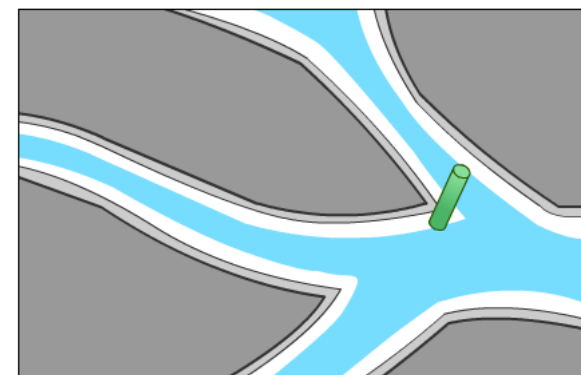
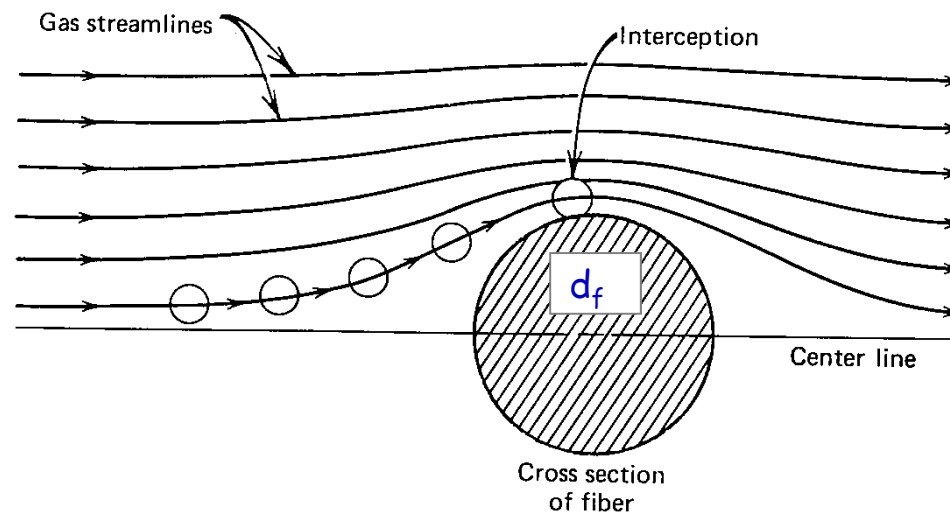
$$n_R = \frac{1+R}{2Ku} \left[2\ln(1+R) - 1 + \alpha + \left(\frac{1}{1+R} \right)^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) - \frac{\alpha}{2} (1+R)^2 \right]$$

Όπου, $R=d_p/d_f$, Ku είναι ο Αριθμός Kuwabara ($Re < 1$)

$$Ku = -\frac{\ln a}{2} - \frac{3}{4} + a - \frac{a^2}{4}$$

Ανάσχεση και πρόσκρουση υπεύθυνες για την απομάκρυνση του 99% της μάζας των σωματιδίων

Krish & Stechkina, 1978



Μηχανισμοί διήθησης: Διάχυση

Διάχυση (diffusion):

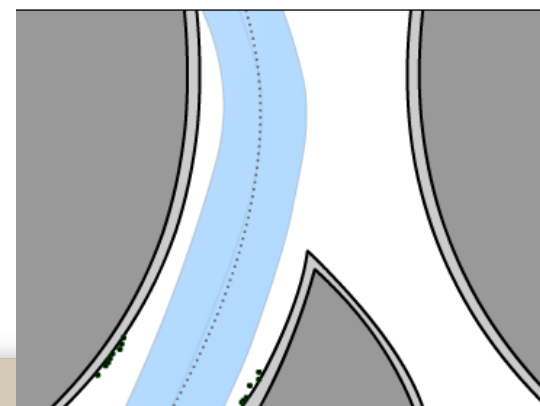
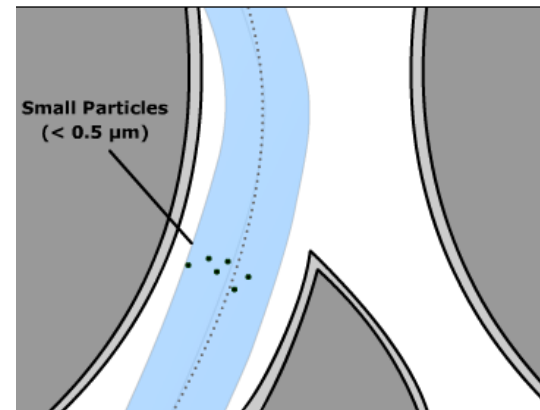
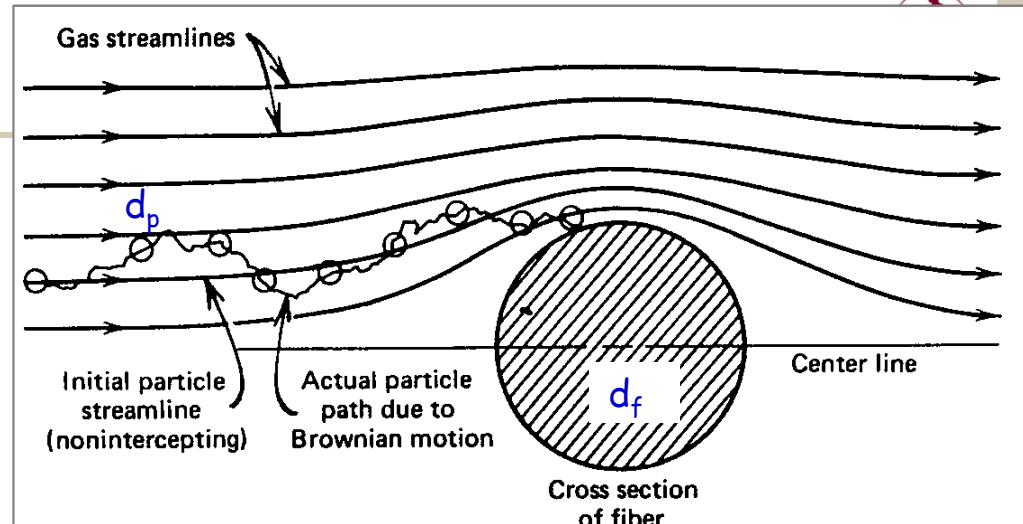
- Τα μικρά σωματίδια ($< 0,5 \mu\text{m}$) υπόκεινται σε τυχαία κίνηση (κίνηση Brown). Τα σωματίδια μπορούν να έχουν διαφορετική ταχύτητα από το αέριο ρεύμα και σε κάποια χρονική στιγμή να έρθουν σε επαφή με το αντικείμενο και να συλληχθούν
- Η απόδοση συλλογής n_D δίνεται από:

$$n_D = 2,58 Pe^{-2/3}$$

$$Pe = \frac{d_f U_0}{D} \quad \text{Peclet number}$$

$$D = kT/3\pi\mu d_p$$

Πως επηρεάζεται η απόδοση από τη διάμετρο του σωματιδίου;





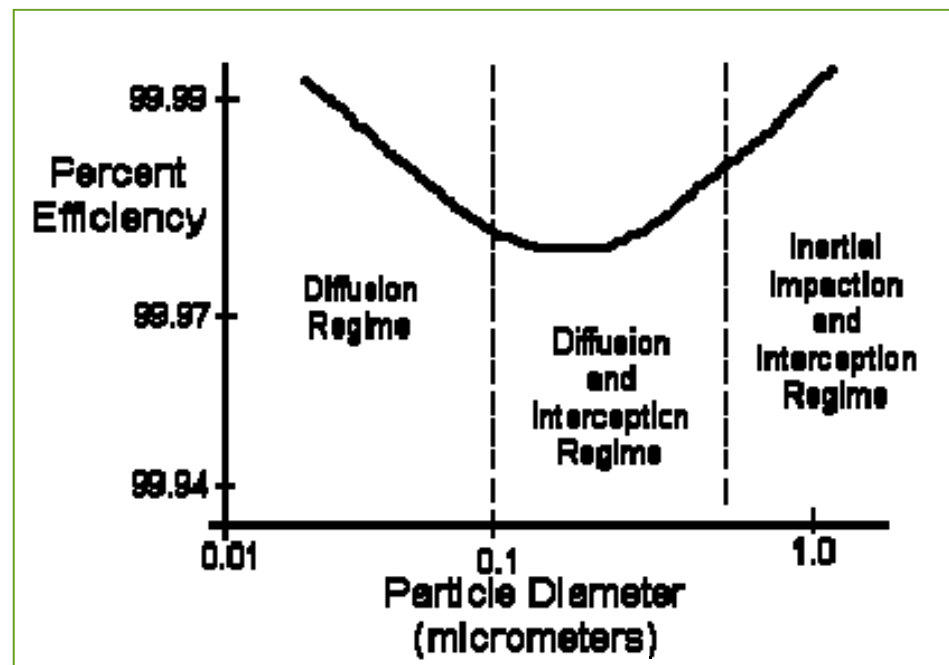
Άλλοι Μηχανισμοί διήθησης - Συνολική απόδοση

Άλλοι μηχανισμοί

- Βαρυτική καθίζηση
- Συσσωμάτωση
- Ηλεκτροστατική έλξη

Η συνολική απόδοση (με την προϋπόθεση ότι οι μηχανισμοί δρουν ανεξάρτητα):

$$n = 1 - (1 - n_{\pi\rho.})(1 - n_{\alpha\nu.})(1 - n_{\delta\iota\alpha.})(1 - n_{\beta\alpha.})(1 - n_{\eta\lambda.})$$
$$\approx n_{\pi\rho.} + n_{\alpha\nu.} + n_{\delta\iota\alpha.} + n_{\beta\alpha.} + n_{\eta\lambda.}$$



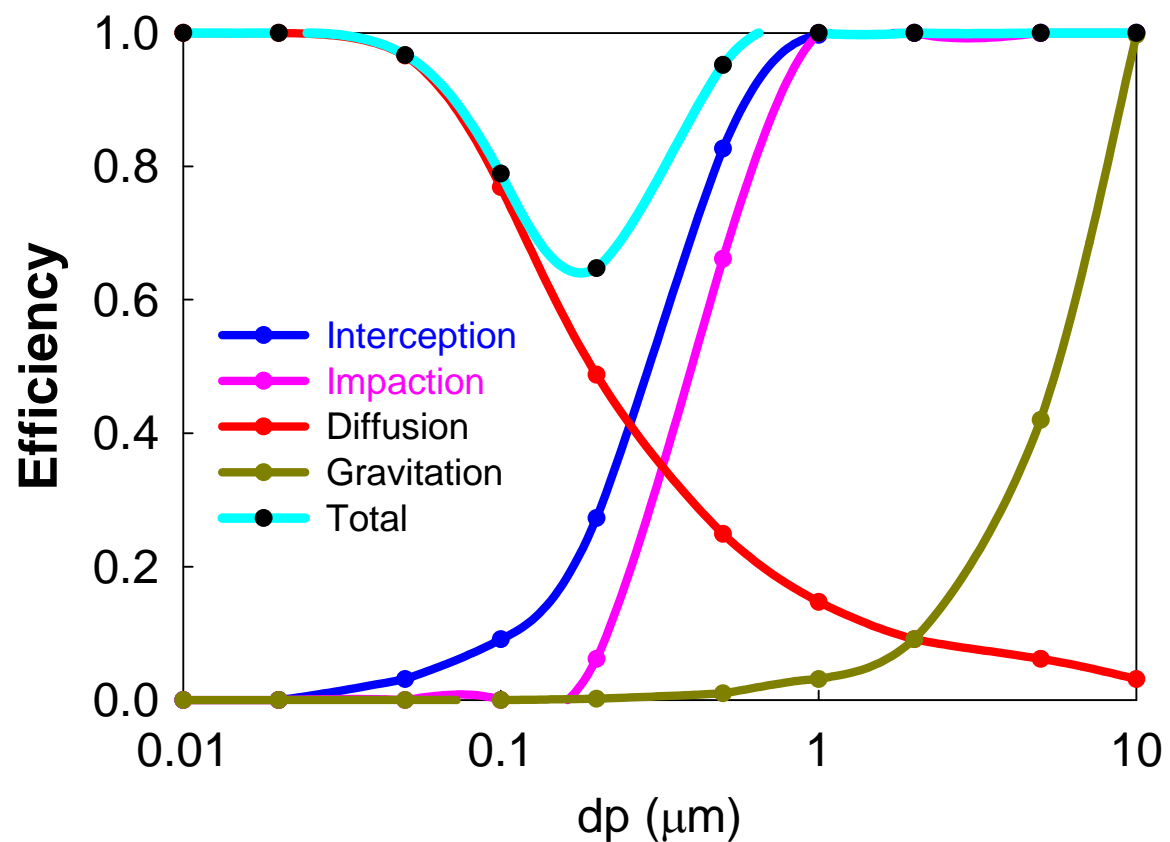
Απόδοση φίλτρου ως συνάρτηση του μεγέθους του σωματιδίου.

Τα σακόφιλτρα παρουσιάζουν μία ελάχιστη απόδοση για σωματίδια 0,05-0,5 μm, καθώς κανένας μηχανισμός απόθεσης δεν είναι αποτελεσματικός.



Συνολική απόδοση

Filter efficiency for individual mechanism and combined mechanisms



$H = 1 \text{ mm}$
 $\alpha = 0,05$
 $d_f = 2 \text{ mm}$
 $U_0 = 10 \text{ cm/s}$

Από Wu (2004)



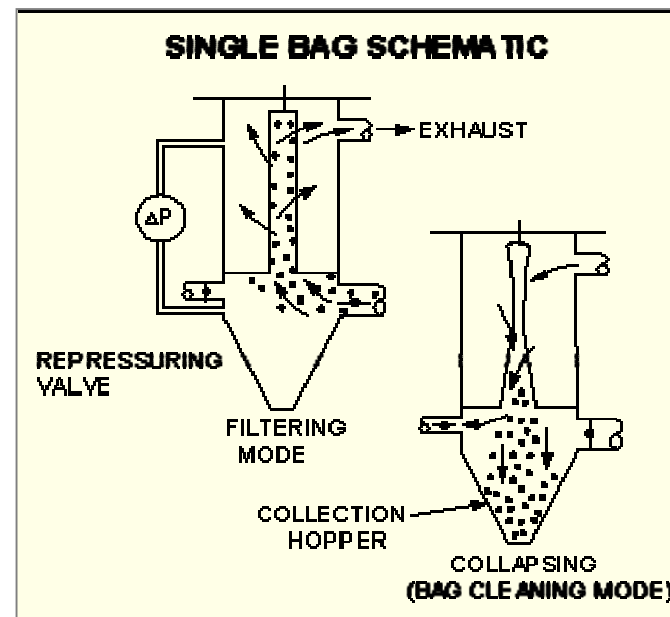
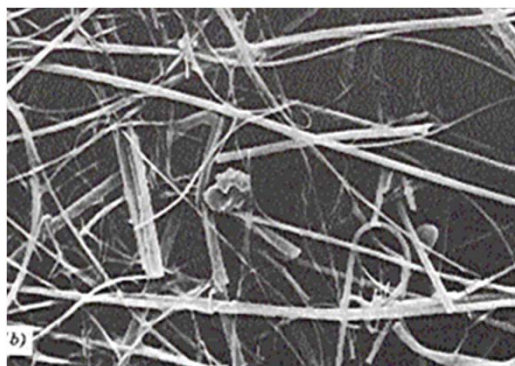
Είδη σακόφιλτρων

Κυριότεροι τύποι σακόφιλτρων (ανάλογα με τη μέθοδο απομάκρυνσης της σκόνης από το σάκο):

- Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής (reverse flow) [off stream]
- Σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση (shaker) [off stream]
- Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (pulse jet) [on stream]

Ανάλογα με τη διάθεσή τους μετά τη χρήση:

- Σακόφιλτρα μιας χρήσης (disposable): κυρίως τα βαθιά φίλτρα (ίνες υάλου πάνω σε μεταλλική βάση)
- Σακόφιλτρα που επαναχρησιμοποιούνται (non-disposable): από ύφασμα

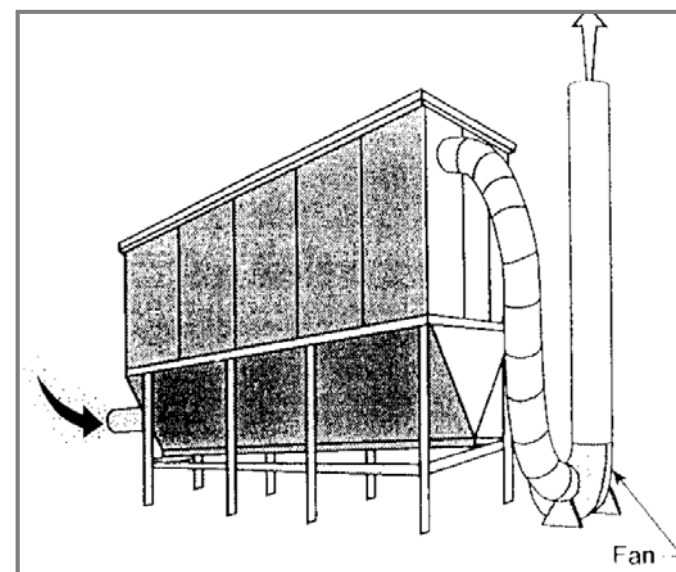
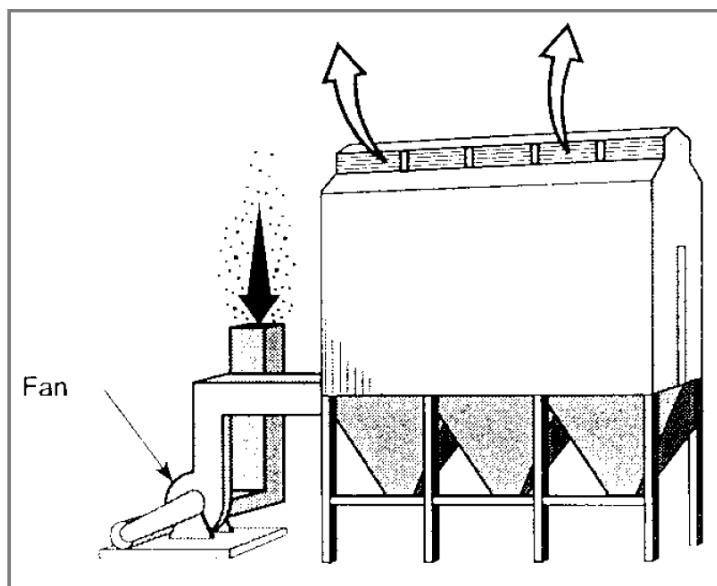




Είδη σακόφιλτρων

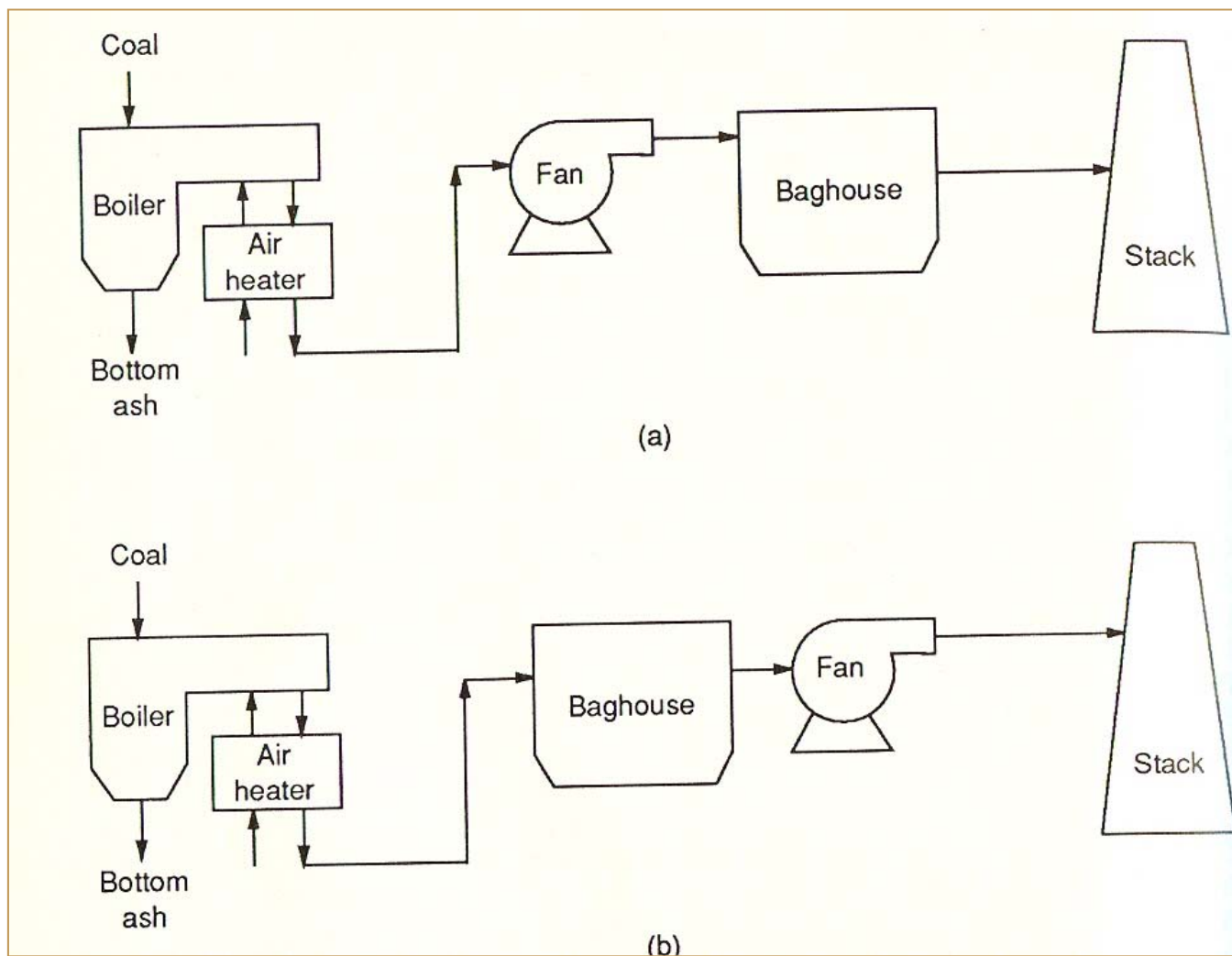
Σακόφιλτρα θετικής και αρνητικής πίεσης

- Όταν το ρυπασμένο αέριο ρεύμα ωθείται να διέλθει μέσα από τα σακόφιλτρα: **θετικής πίεσης (positive pressure)**. Φθηνότερα, προβλήματα με τα πτερύγια των ανεμιστήρων.
- Όταν ο ανεμιστήρας είναι κατάντη του σακόφιλτρο: **αρνητική πίεσης (negative pressure)**. Ενισχυμένη κατασκευή, πρόβλημα με την είσοδο του αέρα και ιδιαίτερα στη χοάνη συλλογής.



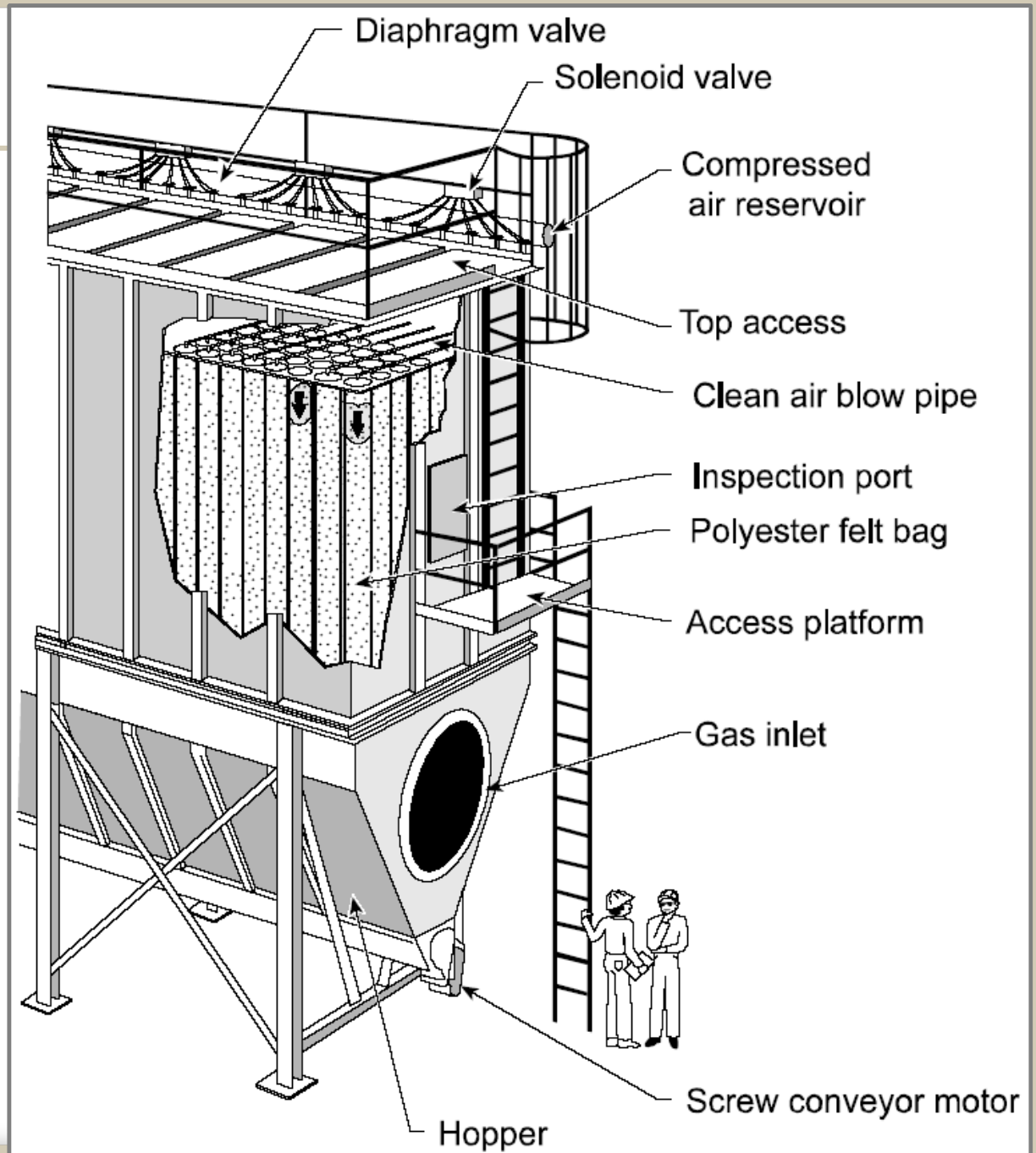


Σακόφιλτρα θετικής και αρνητικής πίεσης



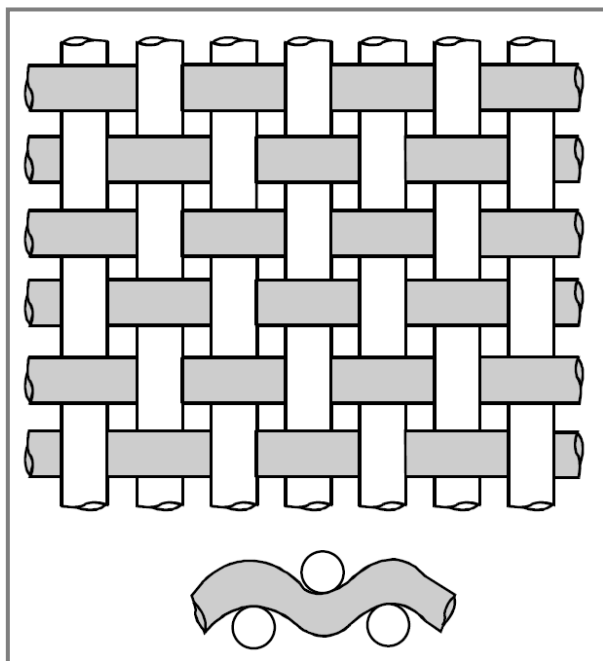
Τα μέρη ενός συστήματος σακόφιλτρου

- Ο σάκος, το ύφασμα και το στήριγμα.
- Κατασκευή πάνω στην οποία εγκαθίστανται τα σακόφιλτρα
- Χοάνη συλλογής.
- Σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης.
- Σύστημα καθαρισμού των φίλτρων





Είδη υφάσματος - «πλεγμένο» ύφασμα



Πλεγμένο φίλτρο (*Woven Filters*)

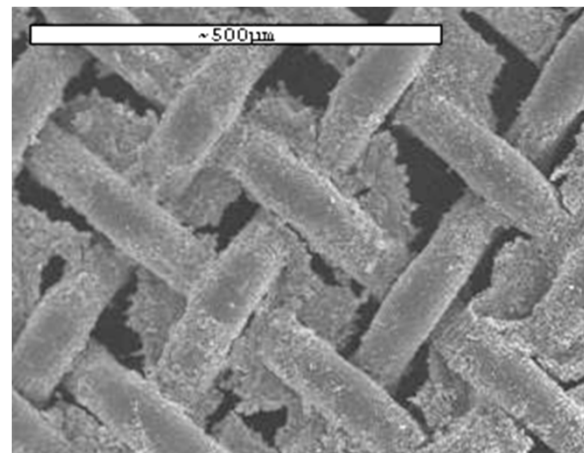
- Τα διάφορα είδη πλέξης έχουν διαφορετικά ανοίγματα, κάτι που επηρεάζει την αντοχή του υφάσματος και την περατότητα.
- Η περατότητα του υφάσματος επηρεάζει την ποσότητα του αέρα που περνάει και την πτώση πίεσης.
- Μία πυκνή πλέξη θα συλλέξει καλύτερα τα σωματίδια, αλλά αυξάνει το κόστος και την πτώση πίεσης.

Πυκνότητα πλήρωσης/στερεότητα

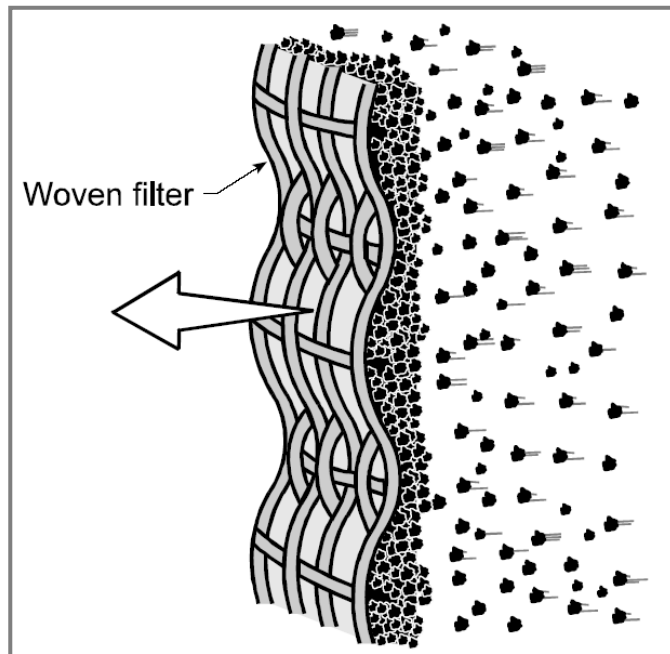
$$\alpha = \frac{\text{όγκος ινών}}{\text{συνολικός όγκος}} = 1 - \text{πορώδες}$$

Για υφασμάτινο φίλτρο, $\alpha < 0,1$

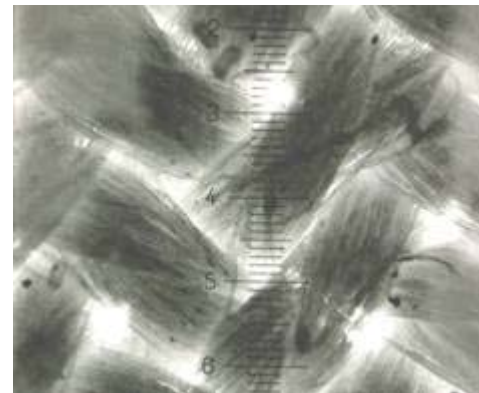
Για πλεγμένο φίλτρο, $\alpha \sim 0,2$

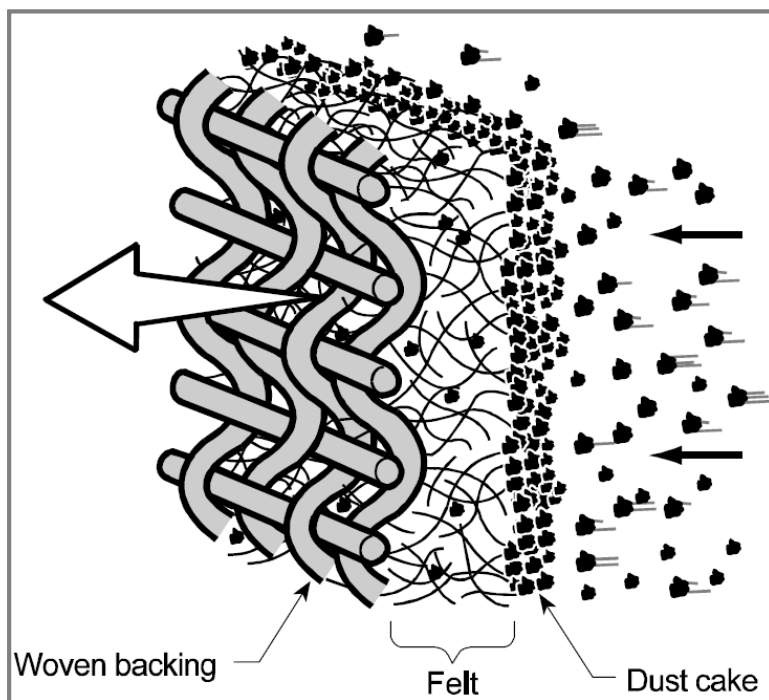


Είδη υφάσματος - πλεγμένο ύφασμα



«Πλεγμένα» υφάσματα
χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς
συλλέκτες που καθαρίζονται με
αντίθετη ροή ή με μηχανική δόνηση.



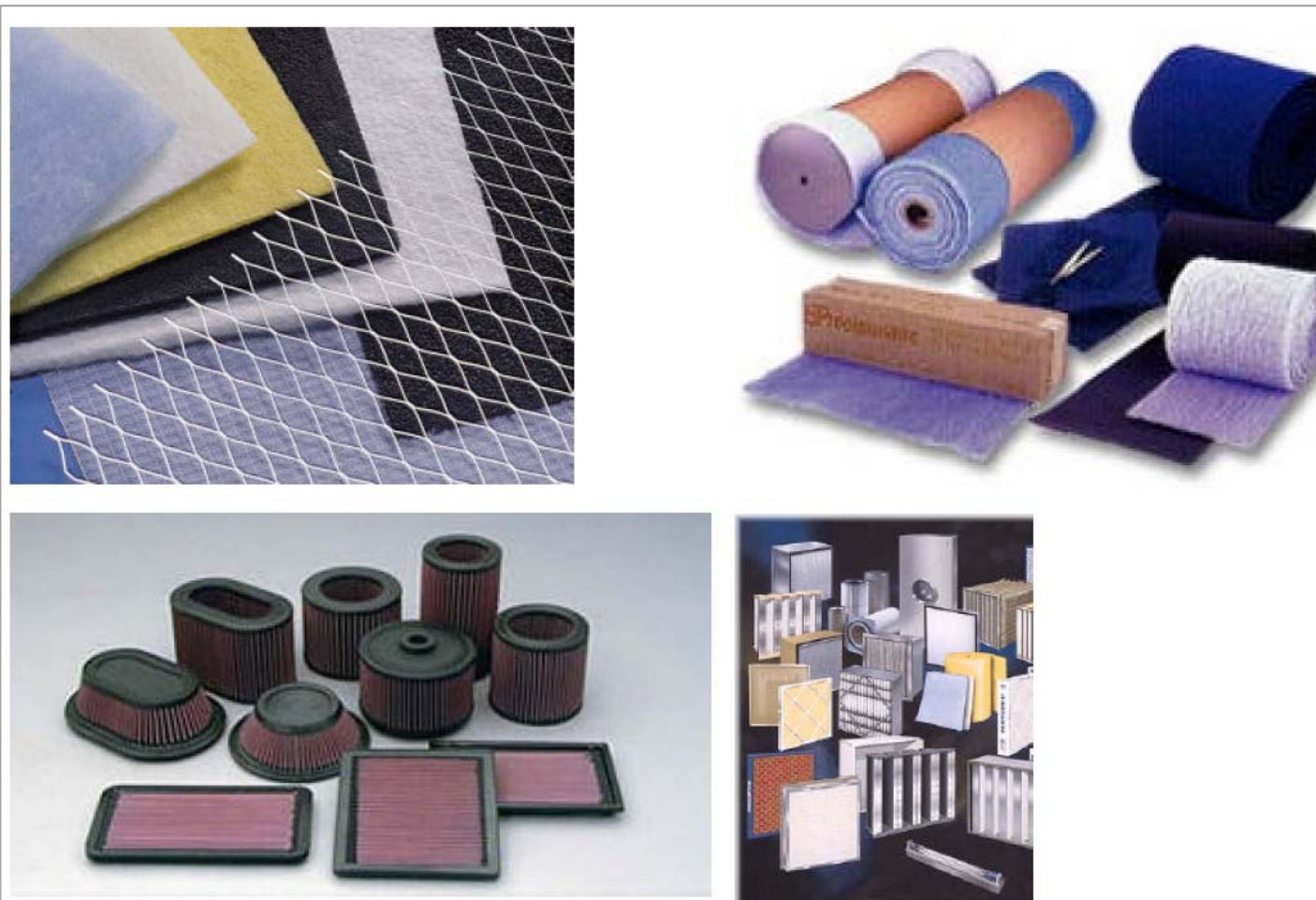


Πιληματοποιημένο φίλτρο (Felted Filters)

- Τα πιληματοποιημένα υφάσματα (τύπου τσόχας) γίνονται με τη συμπίεση ινών επάνω σε ένα υφασμένο υπόστρωμα.
- Οι ίνες είναι τοποθετημένες τυχαία (σε αντίθεση με το πλεγμένο). Η πρόσδεση στο υπόστρωμα γίνεται με χημικό τρόπο, θερμότητα, ρητίνες κ.ά.
- Το στρώμα της σκόνης στηρίζεται στην επιφάνεια της τσόχας, αλλά μερικά σωματίδια διεισδύουν μέσα στην τσόχα. Τα φίλτρα αυτά είναι 2-3 φορές παχύτερα από τα υφασμάτινα. Κάθε τυχαία ίνα λειτουργεί ως στόχος συλλογής των σωματιδίων λόγω πρόσκρουσης και ανάσχεσης.
- Οι «τσόχες» χρησιμοποιούνται γενικά σε σακόφιλτρα δόνησης με πεπιεσμένο αέρα.

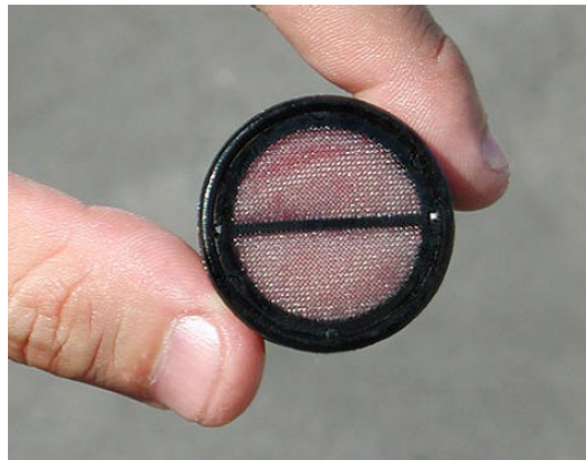


Παραδείγματα διηθητικών μέσων





Παραδείγματα διηθητικών μέσων

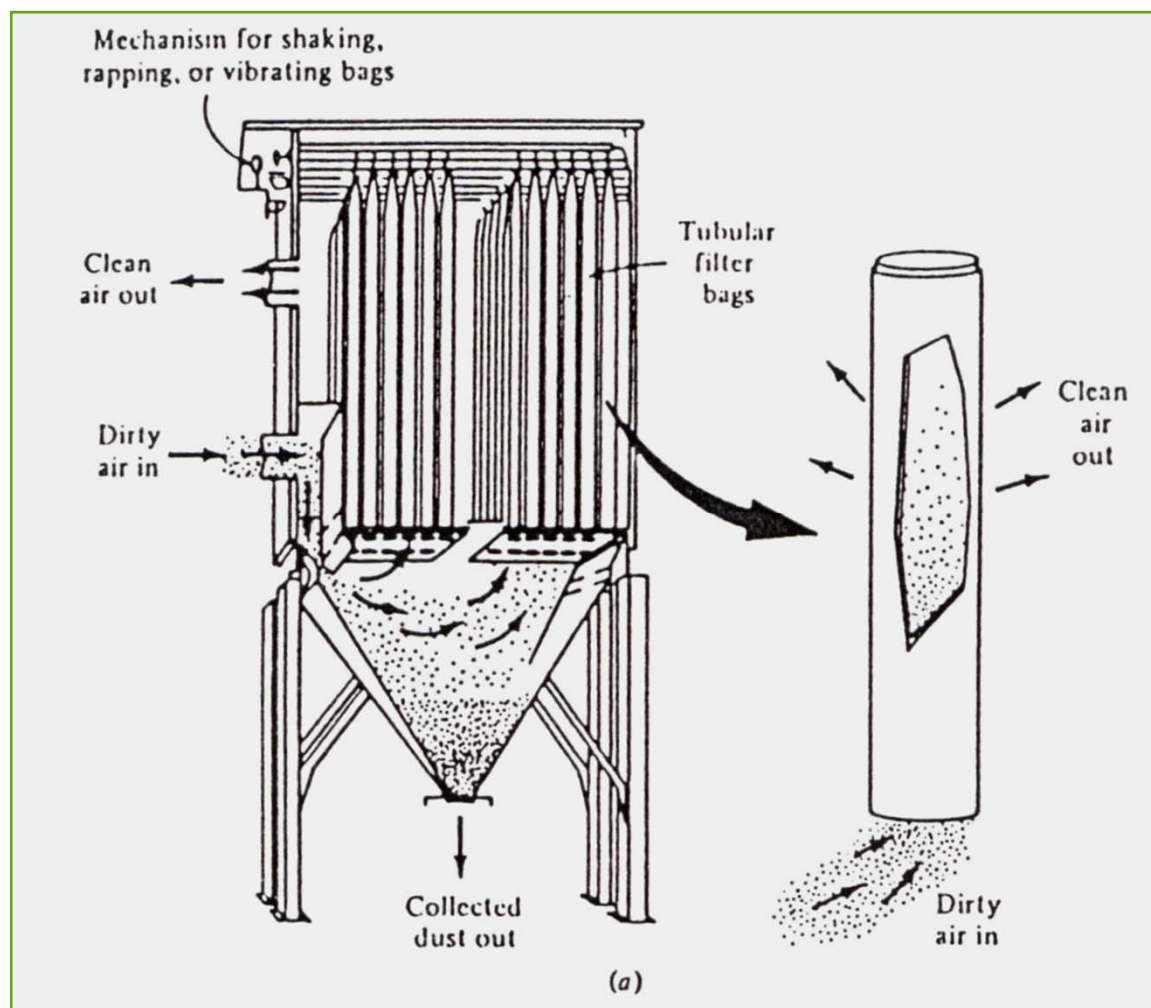


Μικροσκοπικά ή και τεράστια συστήματα.



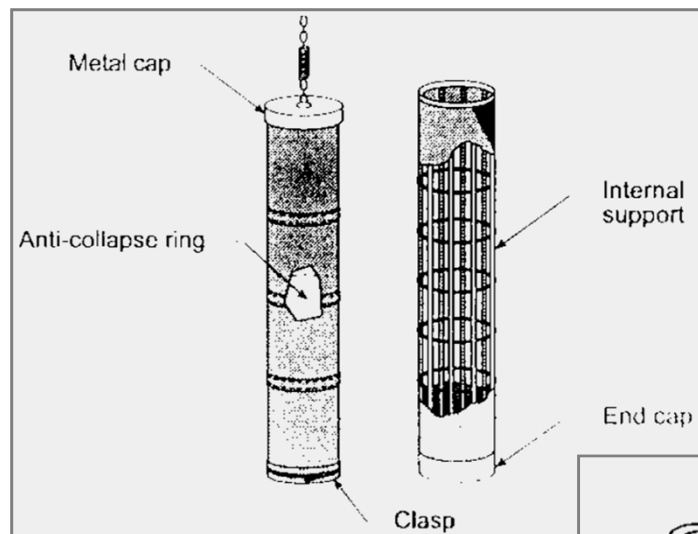


Σακόφιλτρα:

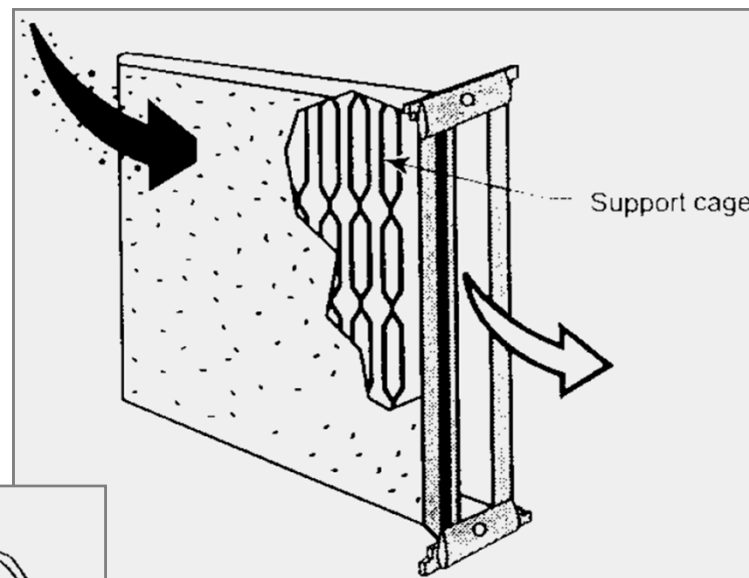




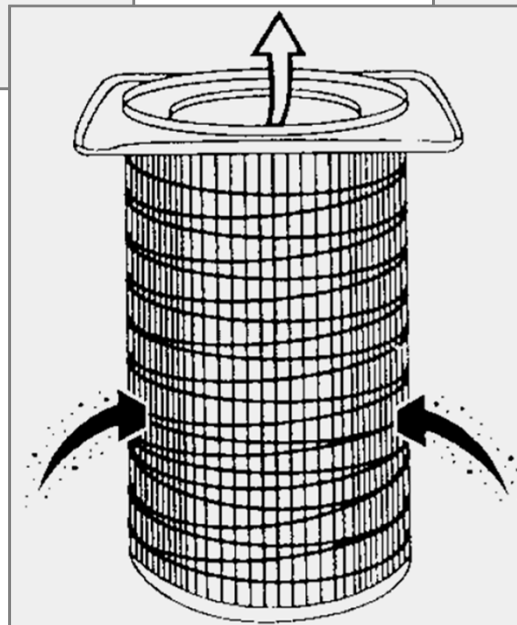
Σακόφιλτρα και στηρίγματα



Σακόφιλτρα και στηρίγματα



Φίλτρο τύπου φακέλου.



Φίλτρο τύπου cartridge.

Σακόφιλτρα: Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα



Πλεονεκτήματα

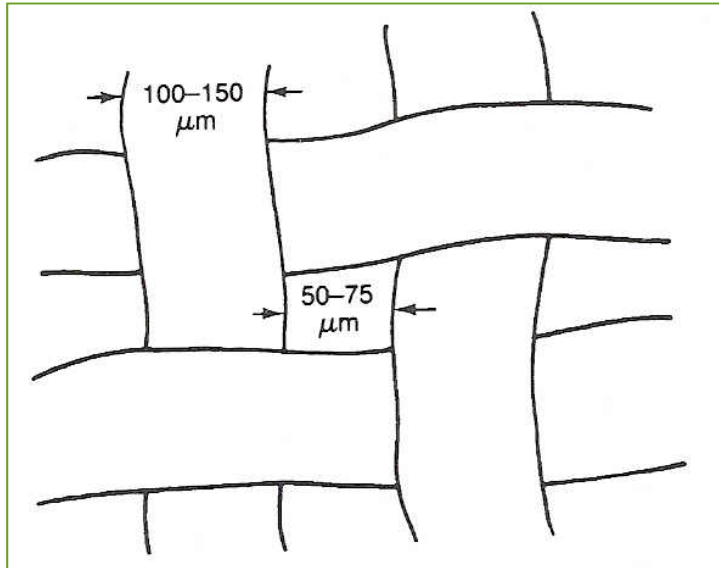
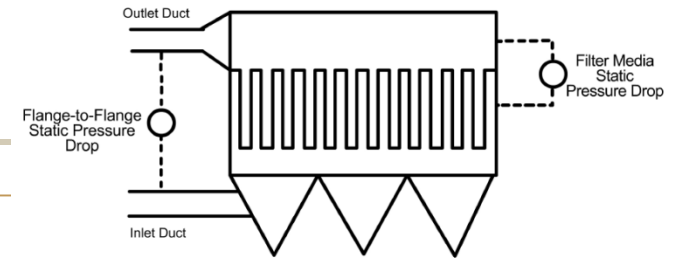
- Πολύ υψηλές αποδόσεις (99%), ακόμη και για μικρά σωματίδια.
- Μπορούν να επεξεργαστούν μεγάλο εύρος ογκομετρικών παροχών.
- Αποτελούνται από επιμέρους στοιχεία που μπορούν να συναρμολογηθούν στη μονάδα.
- Μπορούν να λειτουργήσουν με διάφορα είδη σωματιδίων.
- Απαιτούν σχετικά χαμηλές πτώσεις πίεσης.



Μειονεκτήματα

- Απαιτούν μεγάλες επιφάνειες της στερεής έδρασης.
- Τα υφάσματα μπορούν να πάθουν ζημιά από την υψηλή θερμοκρασία και από διαβρωτικά μέσα.
- Δεν λειτουργούν σε περιβάλλον με υγρασία (τα φίλτρα γίνονται «τυφλά»).
- Υπάρχει πιθανότητα έκρηξης ή φωτιάς

Θεωρία - Πτώση Πίεσης



- Πλεγμένο ύφασμα
- Διάμετρος ίνας 100-150 μm
- Ανοίγματα 50-75 μm (με αρκετά ινίδια)
- Στα αρχικά στάδια η απόδοση είναι χαμηλή
- Με το χρόνο, λόγω πρόσκρουσης, ανάσχεσης της πορείας και διάχυσης, τα σωματίδια θα συσσωρευτούν και θα «γεφυρώσουν» τα ανοίγματα.
- Μετά το σχηματισμό του στρώματος, η απόδοση θα αυξηθεί.
- Η συνολική πτώση πίεσης, ΔP , σε ένα σακόφιλτρο δίνεται:

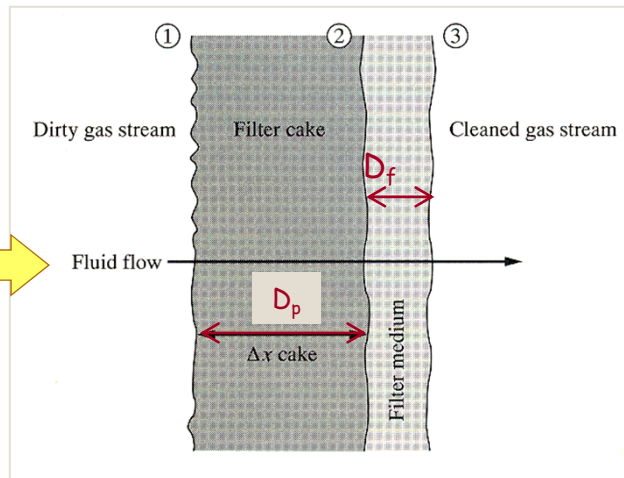
$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p + \Delta P_s$$

~~μικρή~~

Όπου ΔP_f = πτώση πίεσης λόγω του υφάσματος,

ΔP_p = πτώση πίεσης λόγω του στρώματος των σωματιδίων και

ΔP_s = πτώση πίεσης λόγω της κατασκευής του σακόφιλτρου.





Θεωρία - Πτώση πίεσης

- Από την εξίσωση του Darcy για ροή σε πορώδη μέσα

Πτώση πίεσης σε Pa (N/m²)

$$\Delta P_f = \frac{D_f \mu V}{K_f}$$

D_f, D_p : βάθος του φίλτρου & του στρώματος (m)

μ : ιξώδες αερίου (kg/m·s)

$$\Delta P_p = \frac{D_p \mu V}{K_p}$$

V : επιφανειακή ταχύτητα διήθησης, λόγος αέρα /υφάσματος
[= Q/A =ογκ. παροχή αερίου/επιφάνεια υφάσματος] (m/s)

K_f, K_p : διαπερατότητα του φίλτρου & του στρώματος (m²)

- Καθώς το φίλτρο λειτουργεί το D_p αυξάνει
- Για σταθερή ταχύτητα και συγκέντρωση το D_p αυξάνει γραμμικά

$$D_p = \frac{LVt}{\rho_L}$$

L : φόρτιση σε σκόνη (kg/m³)

t : χρόνος λειτουργίας (s)

ρ_L : πυκνότητα στρώματος σωματιδίων (kg/m³)

- Αντικαθιστώντας:

$$\Delta P = \left(\frac{D_f \mu}{K_f} \right) V + \frac{\mu}{K_p \rho_L} (LVt)V$$



Θεωρία - Πτώση πίεσης

- Διαιρώντας με το V και ορίζοντας τις παραμέτρους:

$$S = \frac{\Delta P}{V} \quad S: \text{αντίσταση του φίλτρου - filter drag (N}\cdot\text{s/m}^3\text{)}$$

$$W = LVt \quad W: \text{επιφανειακή πυκνότητα σκόνης (areal dust density, kg/m}^2 \text{ υφάσματος)}$$

- Λαμβάνουμε

$$S = K_1 + K_2 W$$

όπου

$$K_1 = \frac{D_f \mu}{K_f}$$

$$K_2 = \frac{\mu}{K_p \rho_L}$$

Μοντέλο Αντίστασης Φίλτρου (Filter drag model)

- Τα K_1 και K_2 δύσκολα να προσδιοριστούν !



Θεωρία - Πτώση πίεσης

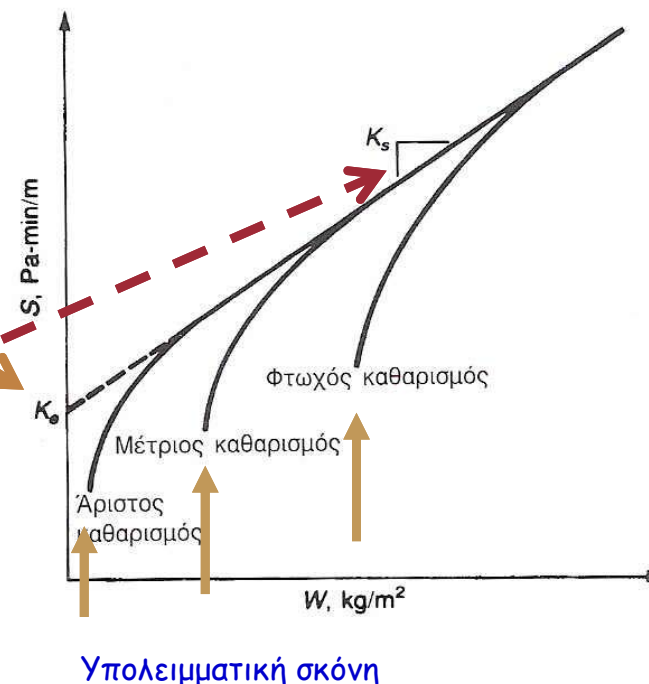
- Επειδή για πρακτικά προβλήματα τα K_1 και K_2 δεν μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα, η εξίσωση του Μοντέλου Αντίστασης Φίλτρου μπορεί να επαναδιατυπωθεί ως:

$$S = K_e + K_s W$$

K_e : προεκτεταμένη αντίσταση φίλτρου από καθαρό ύφασμα- extrapolated clean cloth filter drag ($N \cdot s / m^3$)

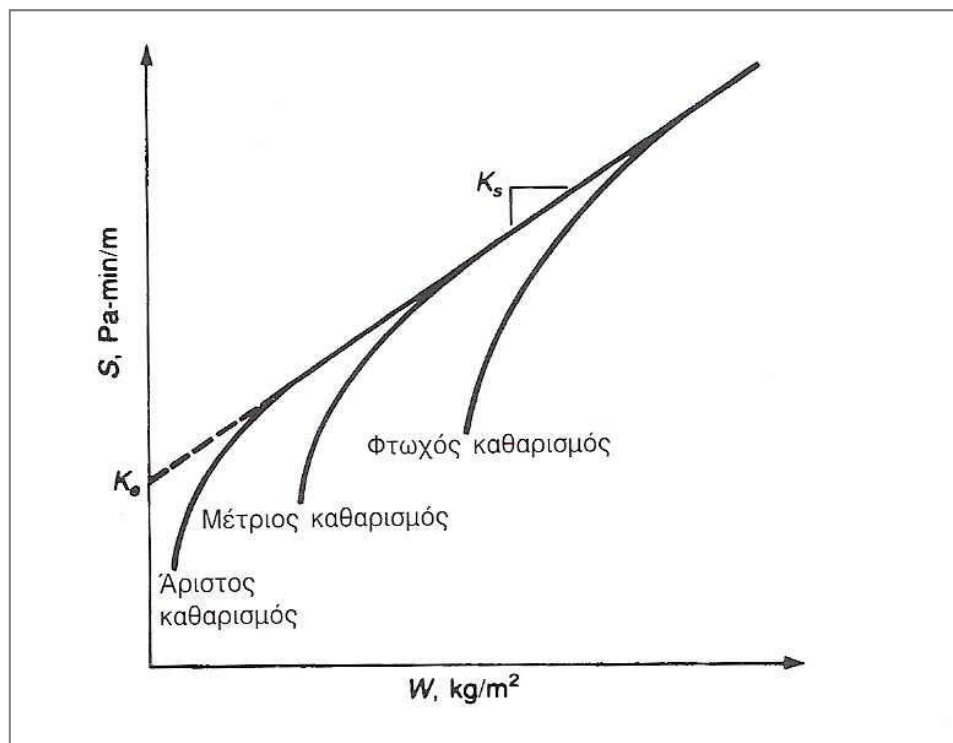
K_s : «κλίση», σταθερή για συγκεκριμένο αέριο, σκόνη και ύφασμα ($N \cdot s / kg \cdot m$)

- Τα K_e και K_s προσδιορίζονται εμπειρικά με πιλοτικές δοκιμές σε αέριο με σκόνη παρόμοια με τη σκόνη της βιομηχανίας. (Προσοχή, συμφωνία στις μονάδες)





Πτώση πίεσης -αντίσταση φίλτρου



Το K_s μεταβάλλεται με την τετραγωνική ρίζα του V .

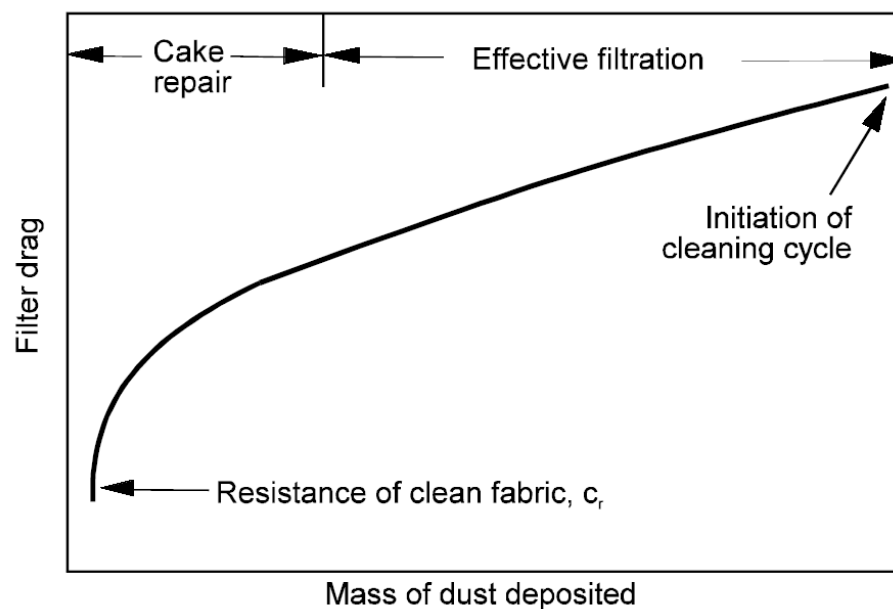
$$K_{s2} = K_{s1} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1/2}$$

Τυπικές καμπύλες της αντίστασης φίλτρου σε σχέση με την πυκνότητα της σκόνης για διάφορους βαθμούς καθαρισμού.

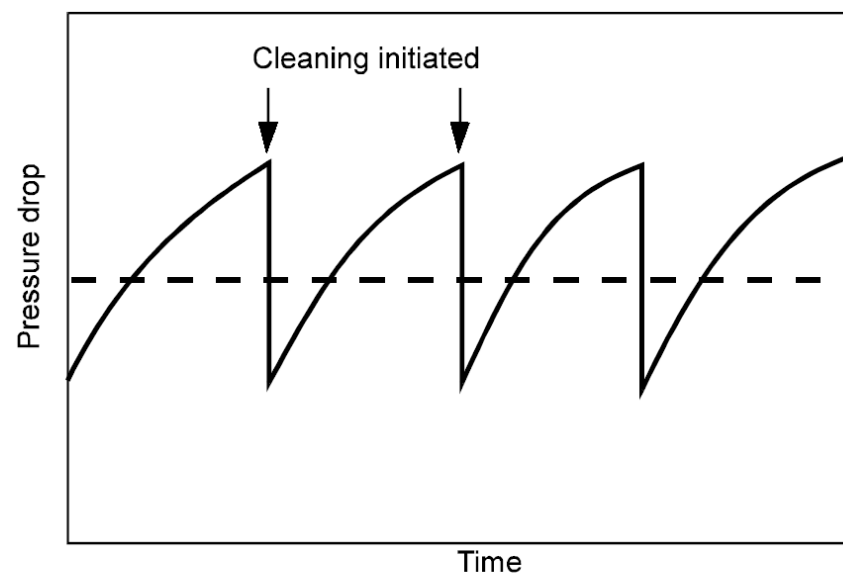
Με βάση δεδομένα δοκιμών για συγκεκριμένο χρόνο, λειτουργίας, φόρτιση και φαινομενικής ταχύτητας μετράμε την πτώση πίεσης σε τακτά χρονικά διαστήματα και εκτιμούμε από την καμπύλη τα K_e και K_s



Πτώση πίεσης - αντίσταση φίλτρου



Αντίσταση του φίλτρου, S , σε σχέση με τη μάζα που συλλέγεται σε ένα απλό σακόφιλτρο



Συνολική πτώση πίεσης σε ένα σακόφιλτρο πολλαπλών διαμερισμάτων.



Επιλογή τύπου φίλτρου

- **Στόχος:** καλά σχεδιασμένο και συντηρημένο σακόφιλτρο που λειτουργεί σωστά.
- Ο τύπος του σακόφίλτρου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τη **Θερμοκρασία** και την **οξύτητα του αέριου ρεύματος**, τα **χαρακτηριστικά της σκόνης**, το **λόγο διήθησης**, τον **τρόπο καθαρισμού του**, αλλά και από **προηγούμενη εμπειρία** για παρόμοιες σκόνες.
- Επειδή τα σακόφιλτρα δημιουργούν επιπλέον πτώση πίεσης σε κάθε διεργασία, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ανεμιστήρας ή συμπιεστής ή άλλο μέσο προώθησης του αέριου ρεύματος. Συνήθως εγκαθίσταται στην «καθαρή» έξοδο του συστήματος των σακόφίλτρων.

Άλλοι παράγοντες που πρέπει να θεωρηθούν

- Υγρασία
- Χημικός χαρακτηρισμός σκόνης
- Εύφλεκτα / εκρηκτικά
- Χωροθέτηση σάκων
- Χειρισμός σκόνης
- Θέση ανεμιστήρα



Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής και με Μηχανική δόνηση

- Έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά και υπάρχει εμπειρία στο σχεδιασμό
- Σημαντική η επιλογή του υφάσματος

Πίνακας 6.1 Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης για Διάφορες Σκόνες σε Σακόφιλτρα 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
Οξείδιο του Αλουμινίου, Άνθρακας, Λιπάσματα, Γραφίτης, Μετάλλευμα Σιδήρου, Οξείδιο του Ασβεστίου, Χρώματα, Ιπτάμενη Τέφρα, Χρωστικές Ουσίες	2.0
Αργίλιο, Άργιλος, Κώκ, Ξυλάνθρακας, Κακάο, Οξείδιο του Μολύβδου, Μαρμαρυγία, Σαπούνι, Ζάχαρη, Τάλκης	2.25
Βωξίτης, Κεραμικά, Ορυκτό Χρώμιο, Άστριος, Αλεύρι, Πυρόλιθος, Γυαλί, Γύψος, Πλαστικά, Τσιμέντο	2.50
Αμιάντος, Ασβεστόλιθος, Χαλαζίας, Διοξείδιο του Πυριτίου, Φελλός, Ζωοτροφές και Δημητριακά, Μάρμαρο, Κέλυφος Οστρέων, Αλάτι	2.75 3.0-3.25
Δέρμα, Χαρτί, Καπνός, Ξύλο	3.50

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

Οι τιμές αυτές τροποποιούνται ανάλογα με τη φόρτιση.



Υλικά ινών - χημική και θερμική αντίσταση

Generic name	Fiber	Maximum temperature				Acid resistance	Alkali resistance	Flex abrasion resistance	Relative cost
		Continuous		Surges					
		°F	°C	°F	°C				
Natural fiber cellulose	Cotton	180	82	225	107	poor	excellent	average	0.4
Polyolefin	Polypropylene	190	88	200	93	excellent	excellent	good	0.5
Natural fiber protein	Wool	200	93	250	121	good	poor	average	0.8
Polyamide	Nylon	200	93	250	121	poor to fair	excellent	excellent	0.6
Acrylic	Orlon®	240	116	260	127	very good	fair	average	0.7
Polyester	Dacron®	275	135	325	163	good	fair	excellent	0.5
Aromatic polyamide	Nomex®	400	204	425	218	fair	very good	very good	2.0
Fluoro-carbon	Teflon®	450	232	500	260	excellent except poor for fluorine	excellent except poor for trifluoride, chlorine, and molten alkaline metals	fair	6.7
Glass	Fiberglas® or glass	500	260	550	288	good	poor	poor to fair	1.0
Polymer	P84®	450	232	500	260	good	fair	fair	2.5
Polymer	Ryton®	375	191	450	232	excellent	excellent	good	2.5-4.0

Sources: McKenna and Turner 1989.
Greiner 1993.



Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής και με Μηχανική δόνηση

- Κατασκευάζονται με πολλά διαμερίσματα.
- Για τον καθαρισμό, ένα διαμέρισμα απομονώνεται από τη ροή, εφαρμόζεται η αντίθετη ροή ή η μηχανική δόνηση και συγκεντρώνεται η σκόνη στο συλλεκτήρα.
- Η σκόνη περιοδικά συλλέγεται από το συλλεκτήρα.
- Η αντίθετη ροή λιγότερο αποτελεσματική, αλλά μια ηχητική χοάνη (προκαλεί δόνηση) βοηθάει στην απομάκρυνση της σκόνης



Αριθμός Διαμερισμάτων (Number of Compartments)

- Ο αριθμός διαμερισμάτων εξαρτάται από τη συνολική ροή, τη διαθέσιμη (ή επιθυμητή) μέγιστη πτώση πίεσης ΔP_m , το χρόνο διήθησης t_f ανάμεσα σε 2 καθαρισμούς του ίδιου διαμερίσματος και το χρόνο καθαρισμού t_c .

$$t_f = N(t_r + t_c) - t_c$$

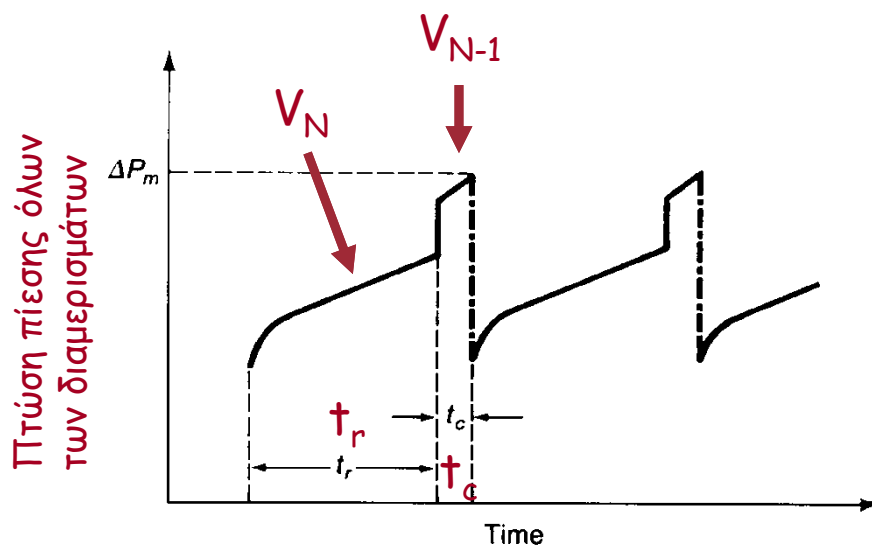
t_r : χρόνος λειτουργίας

Γενικός κανόνας

Table 6.3 Number of Compartments as a Function of Net Cloth Area

Net Cloth Area, ft ²	Number of Compartments
1-4000	2
4000-12,000	3
12,000-25,000	4-5
25,000-40,000	6-7
40,000-60,000	8-10
60,000-80,000	11-13
80,000-110,000	14-16
110,000-150,000	17-20
>150,000	>20

Επιφάνεια στα N-1 διαμερίσματα



ΔP : 6-20 in H₂O

t_f : 0.5-2 ώρες

t_r : 1-5 λεπτά



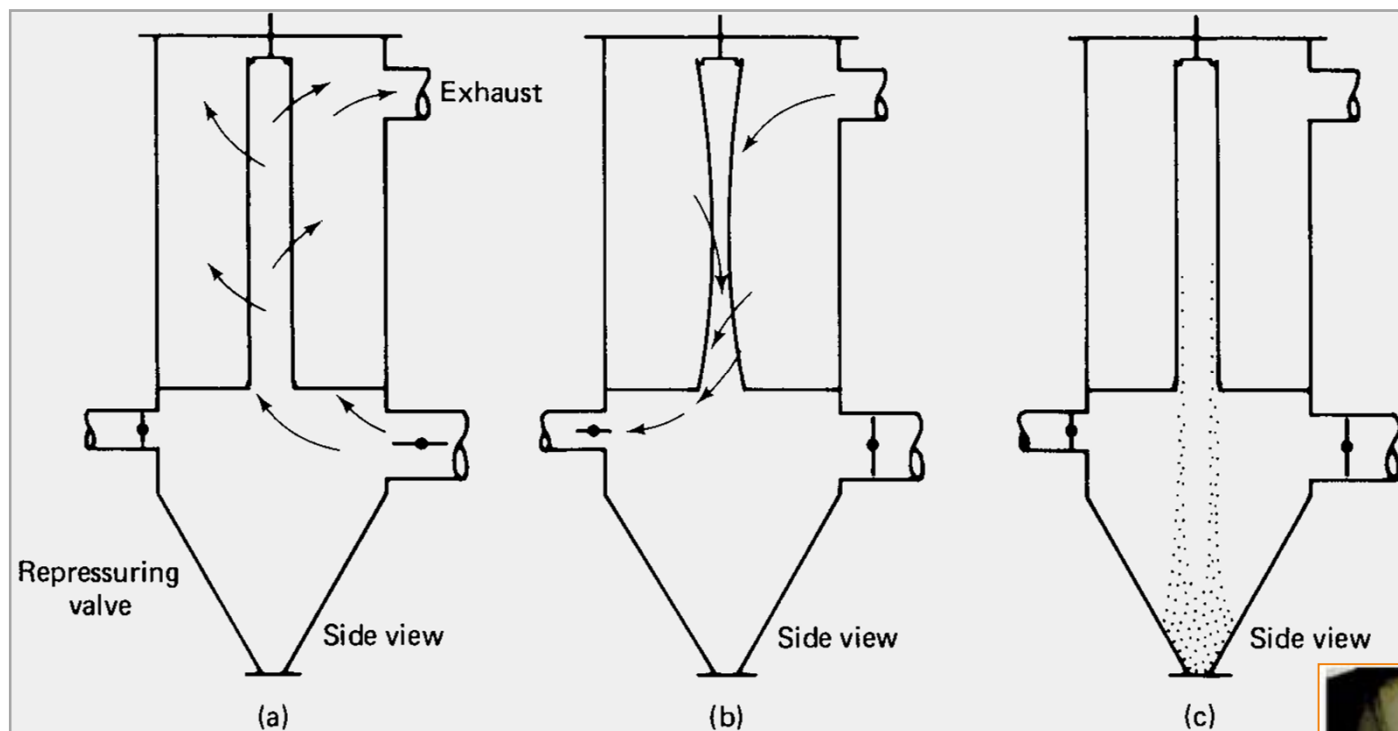
Σχεδιαστική διαδικασία για σακόφιλτρα

- Εκτιμούμε την ταχύτητα (V) για τη σκόνη από τον Πίνακα 6.1
- Υπολογίζουμε την επιφάνεια των φίλτρων $A = Q/V$
 - Να θυμηθούμε να προσθέσουμε το πυθμένα του φίλτρου εάν χρησιμοποιούμε αέρα υπό πίεση
- Εκτιμούμε τον αριθμό των διαμερισμάτων από το Πίνακα 6.3
 - Δεν χρειάζεται εάν χρησιμοποιούμε αέρα υπό πίεση
- Αναπτύσσουμε μοντέλο αντίστασης φίλτρου για τη σχέση μεταξύ DP και V .
- Βασιζόμαστε στην εμπειρία σε μεγάλο βαθμό.

Καθαρή Επιφ.Υφάσμ. ft ²	Αριθμός Διαμερισμάτων
1-4000	2
4000-12,000	3
12,000-25,000	4-5
25,000-40,000	6-7
40,000-60,000	8-10
60,000-80,000	11-13
80,000-110,000	14-16
110,000-150,000	17-20
>150,000	>20

Σημείωση: Καθαρή επιφάνεια υφάσματος = Q_{design}/V_{design} = ύφασμα που απομένει συνδεδεμένο, ακόμη και όταν ένα διαμέρισμα είναι εκτός λειτουργίας για καθαρισμό.

Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής (reverse flow)

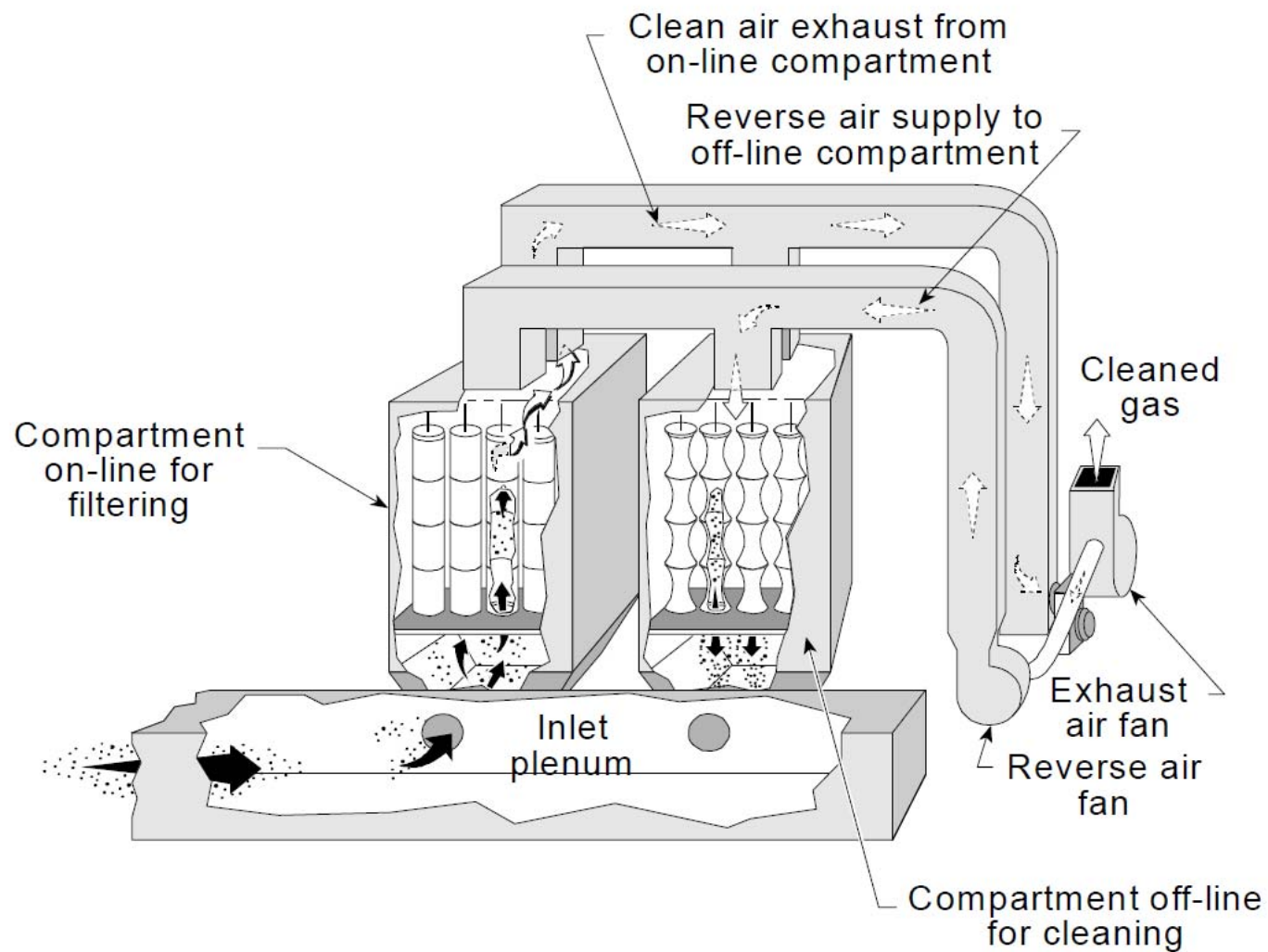


Καθαρισμός σκόνης σε ένα σακόφιλτρο με κτύπημα με σφυρί.





Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής (reverse flow)

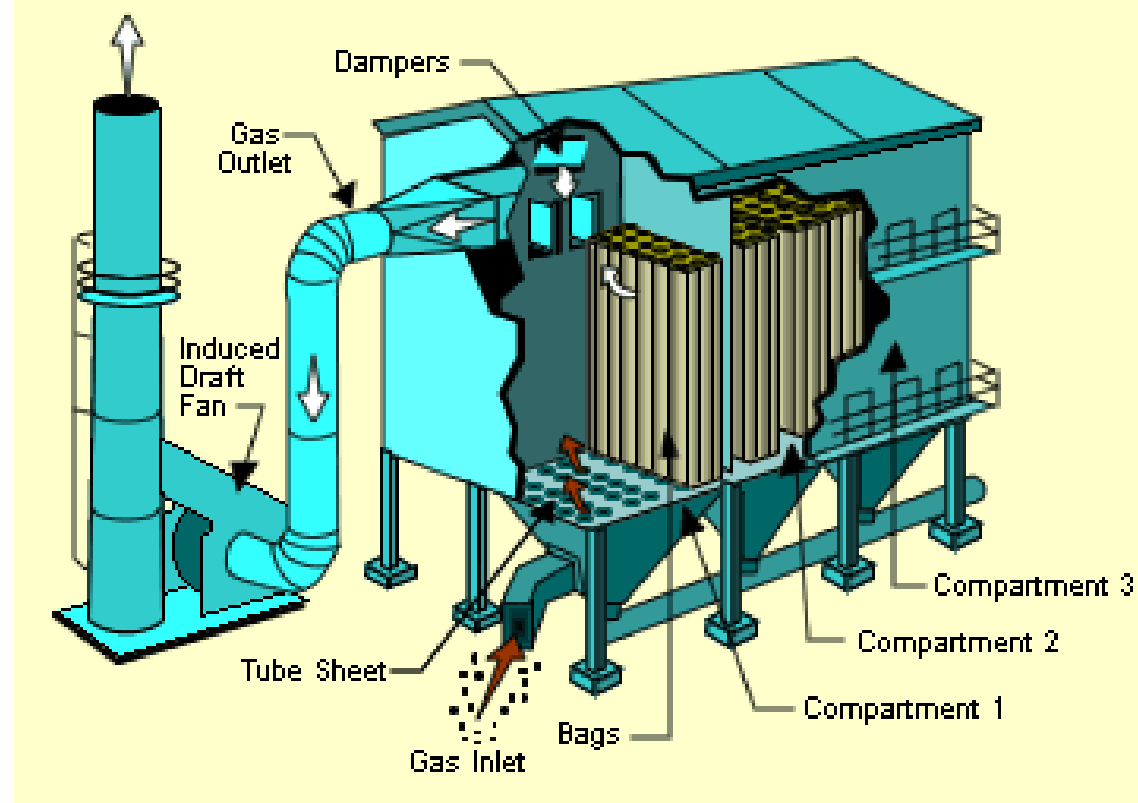




Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής (reverse flow)



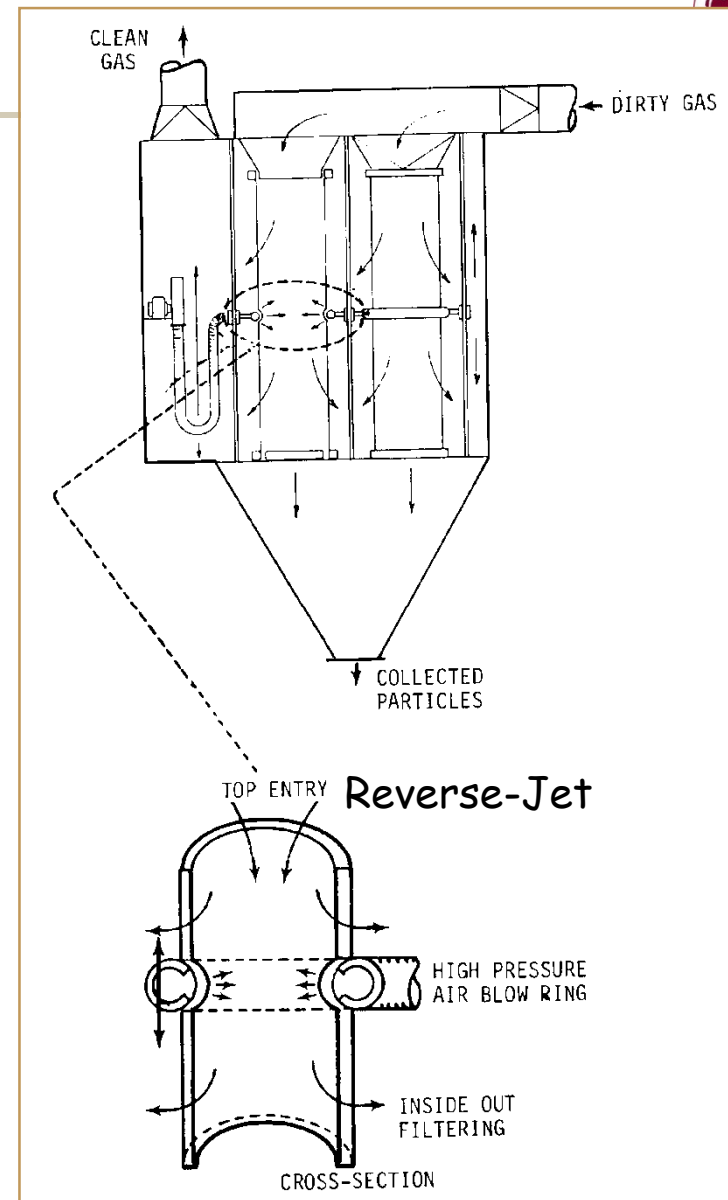
Figure 13. Reverse Air Fabric Filter



Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής

Παράμετροι καθαρισμού

Frequency	Clean a compartment at a time, sequencing 1 compartment after another; continuous or initiated by a max.-pressure-drop switch
Motion	Gentle collapse of bag (concave inward) upon deflation; slowly repressurize a compartment after completion of a backflush
Mode	Off stream
Duration	1-2 min, incl. valve opening, closing & dust settling periods; reverse-air flow itself normally 10-30 s
Bag diameter	8, 12 inch; length 22, 30 ft
Bag tension	50-75 lb





Σακόφιλτρα με ρεύμα αέρα αντίθετης ροής

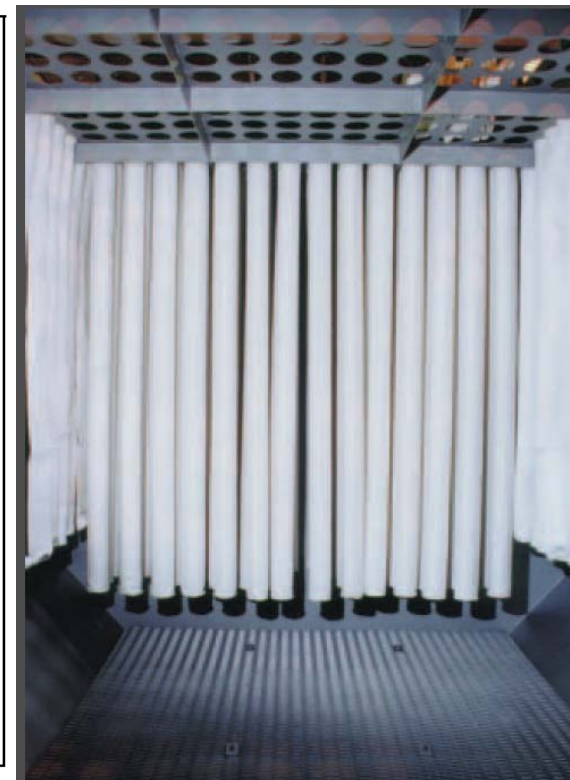
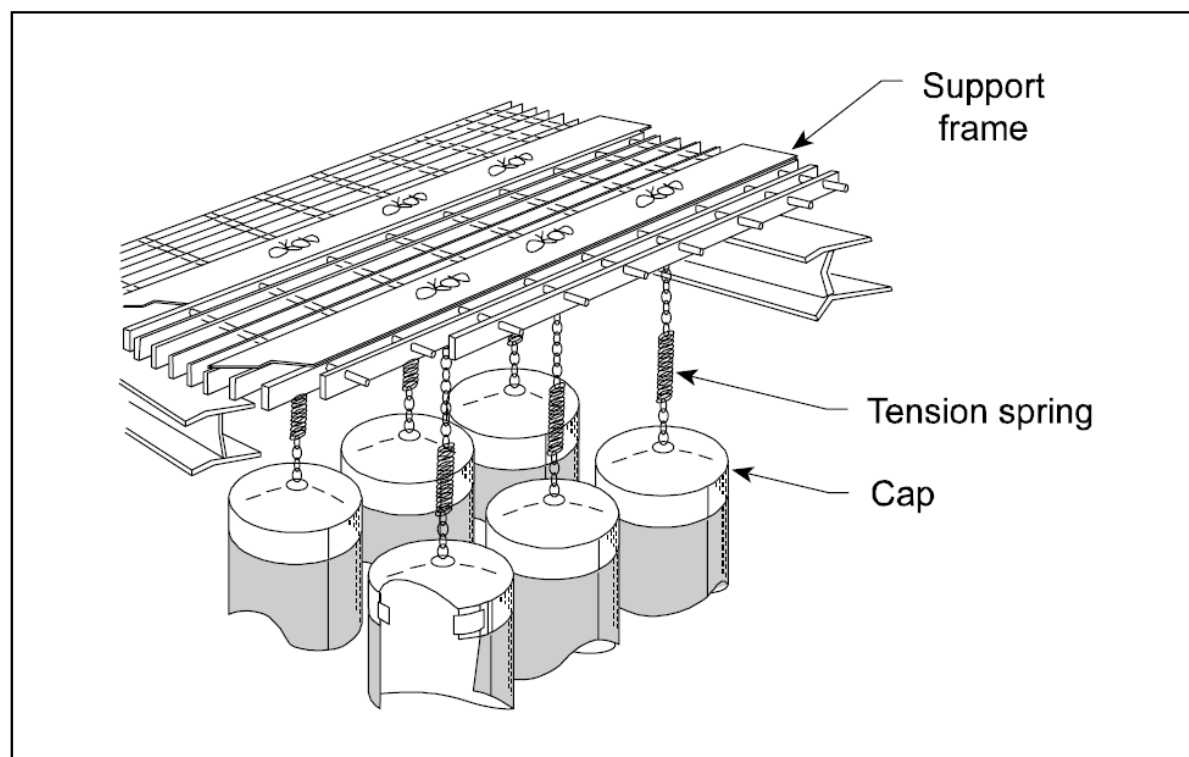


Figure 2-6. Bag attachment for reverse-air baghouses

Σακόφιλτρα με ηχητική δόνηση (shaker)

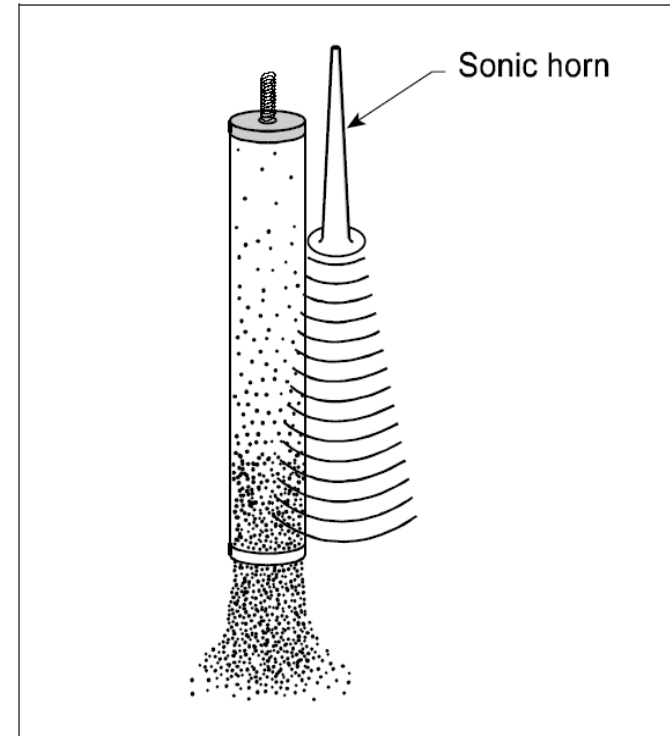
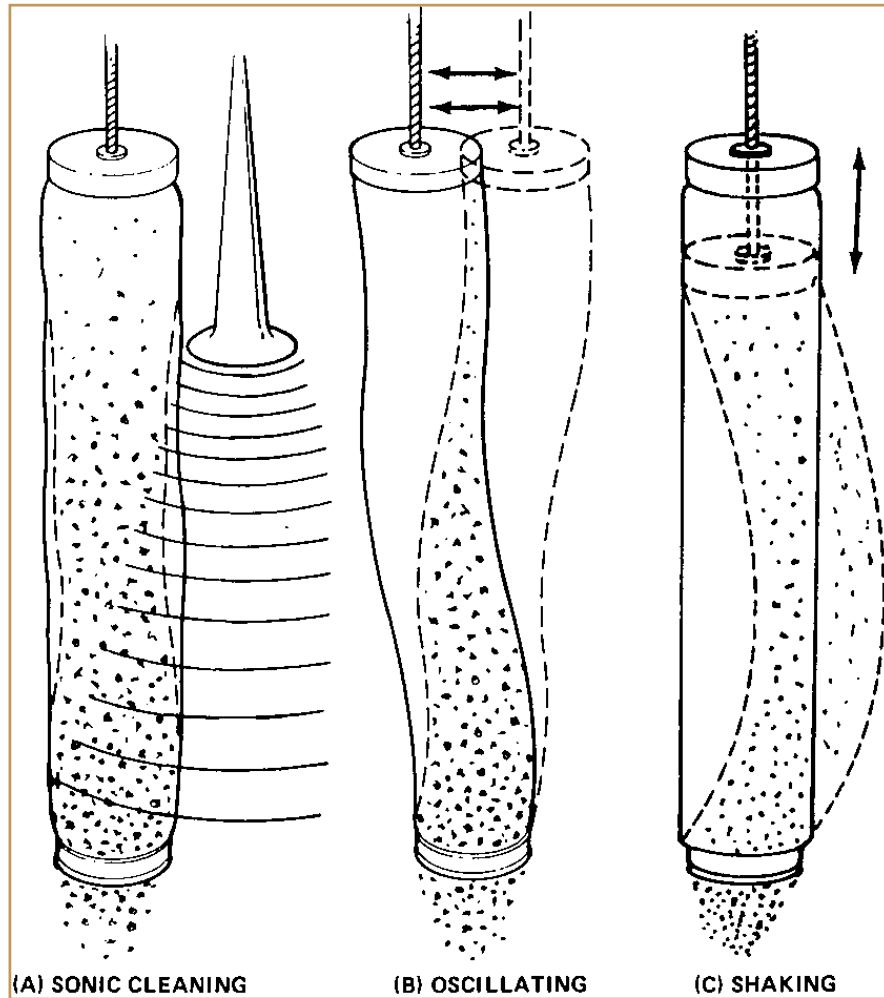
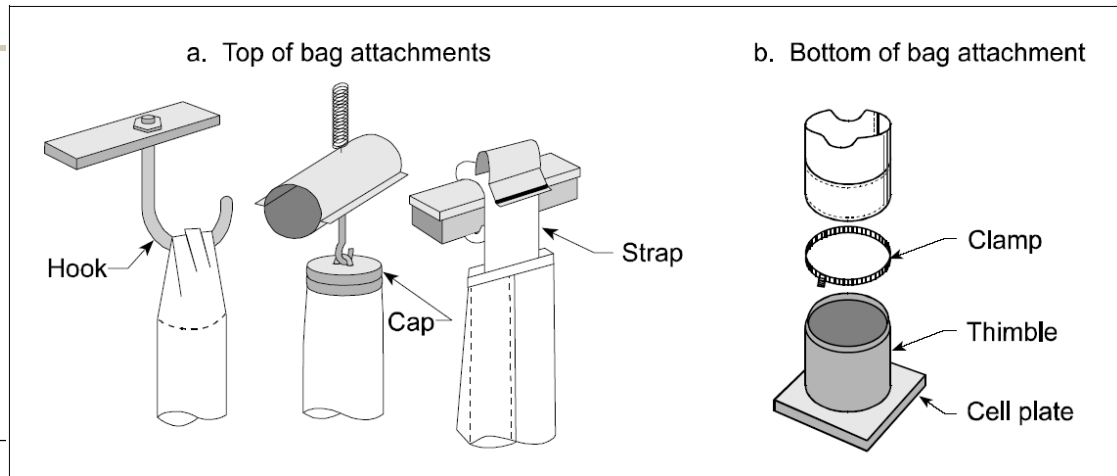


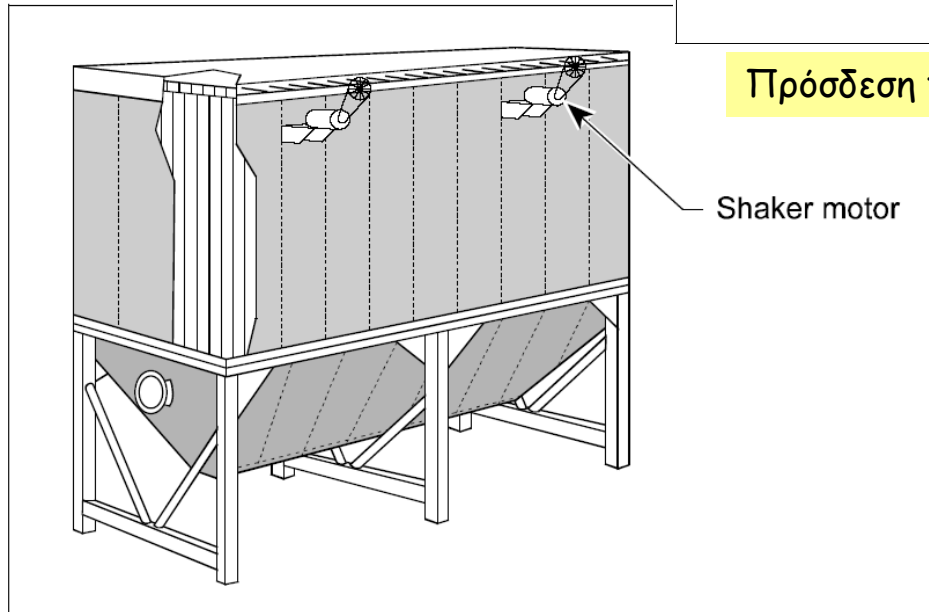
Figure 2-14. Sonic vibrations, usually used along with another bag cleaning mechanism

Theodore & Buonicore,
Air Pollution Control Equipment,
CRC Press, 1988.

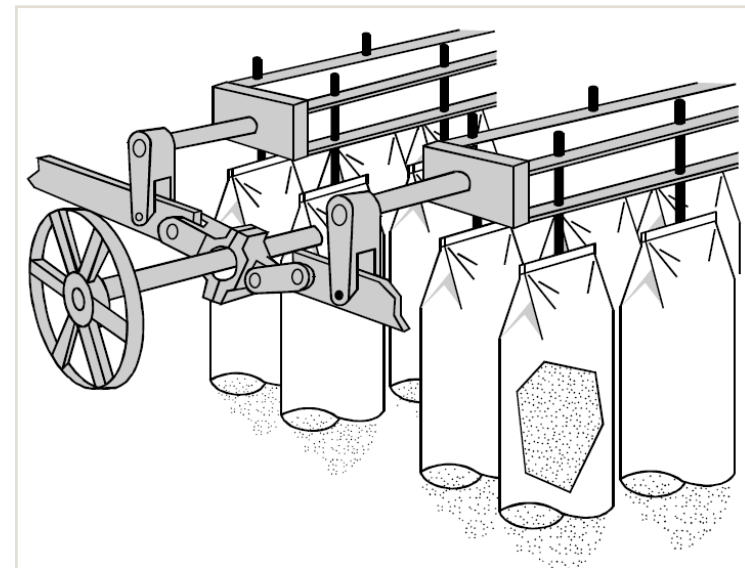
Σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση (shaker)

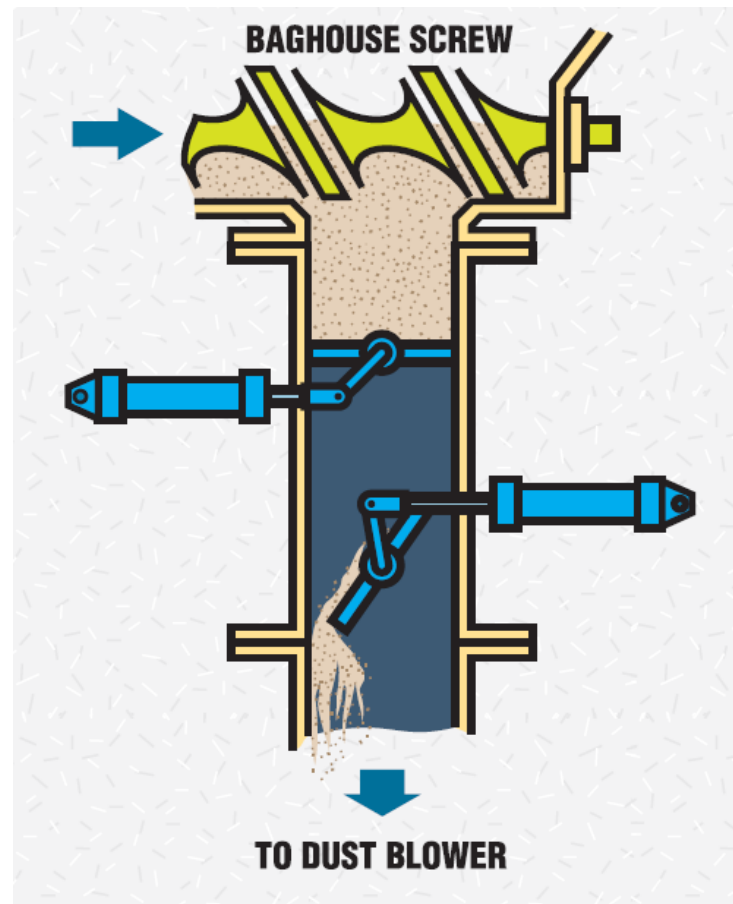
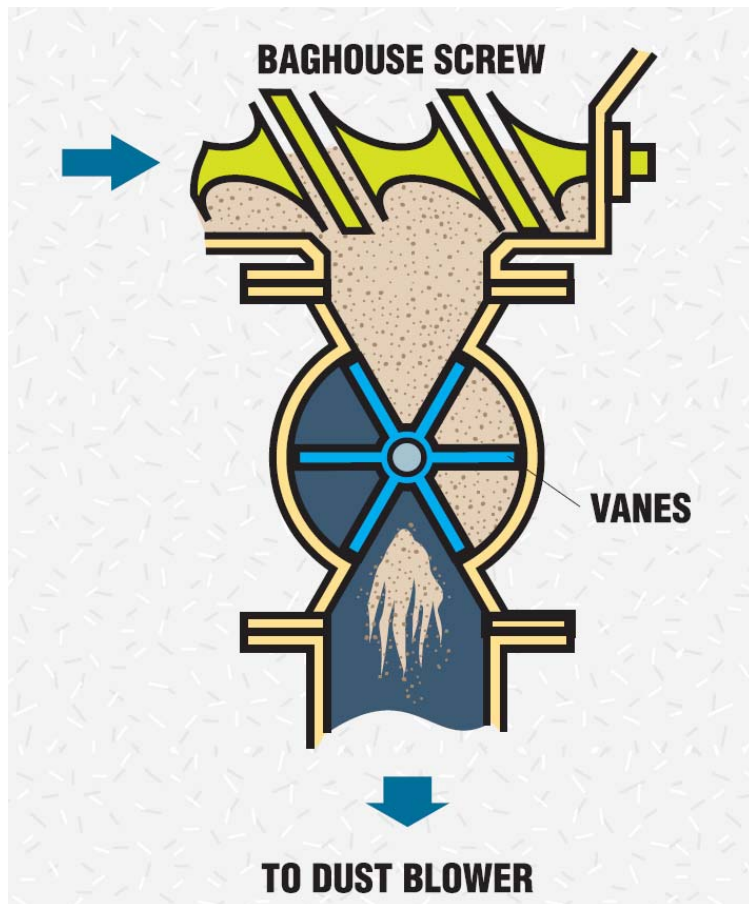


Πρόσδεση του σάκου στη συσκευή δόνησης.



Τυπικό σακόφιλτρο με δόνηση







Σακόφιλτρα με μηχανική δόνηση (shaker)

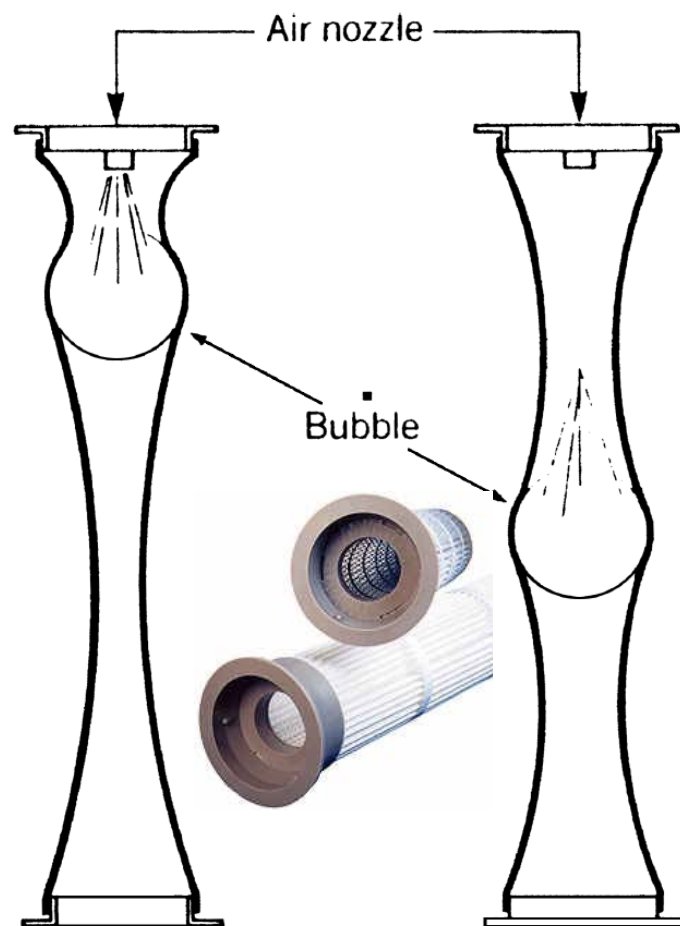
Παράμετροι καθαρισμού

Frequency	Usually several cycles per second; adjustable
Motion	Simple harmonic or sinusoidal
Peak acceleration	1 to 10 g
Bag movement (amplitude)	Fraction of an inch to a few inches
Operation mode	Compartment off-stream for cleaning
Duration	10 to 100 cycles; 30 seconds to a few minutes
Common bag dimensions	5, 8, or 12-inch diameters; 8, 10, 22, or 30-foot lengths

Sources: McKenna and Greiner 1982.
McKenna and Turner 1989.
Adapted and reproduced by permission of ETS, Inc.



Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (pulse jet)



Ο καθαρισμός γίνεται με μικρής διάρκειας ριπές αέρα.
~50% των σακόφιλτρων

Παράμετροι καθαρισμού

Frequency	A row of bags at a time; sequenced 1 row after another; can sequence such that no adjacent rows clean one after another; initiation of cleaning can be triggered by max-pressure-drop switch or may be continuous
Motion	Shock wave passes down bag; bag distends from cage momentarily
Mode	On-stream ; in difficult-to-clean applications such as coal-fired boilers, off-stream compartment cleaning being studied
Duration	Compressed air (100 psi) pulse duration 0.1 s; bag row effectively off-line
Bag diameter	5-6 in

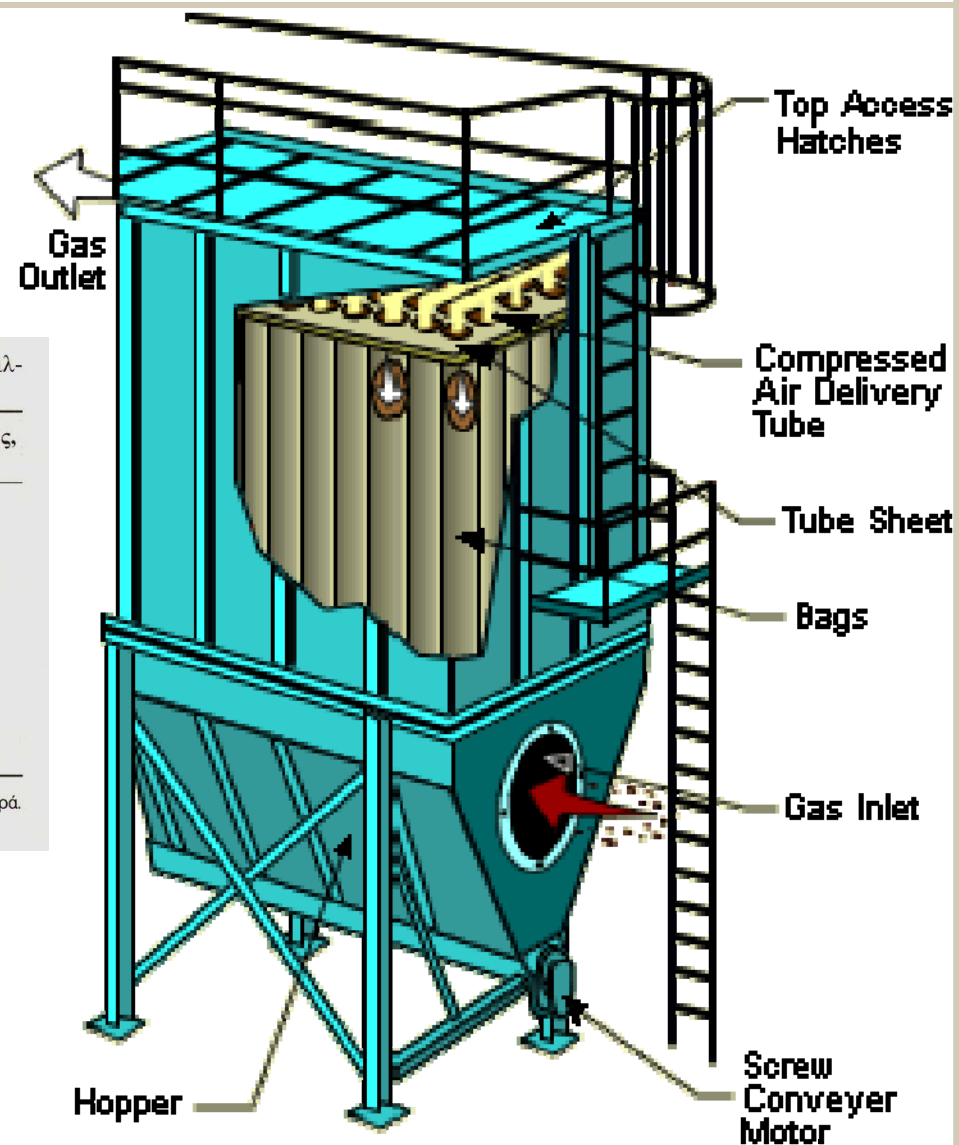


Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (pulse jet)

Πίνακας 6.5 Μέγιστες Ταχύτητες Διήθησης* για Διάφορες Σκόνες ή Καπνούς σε Σακόφιλτρα Δόνησης με Αέρα υπό Πίεση.

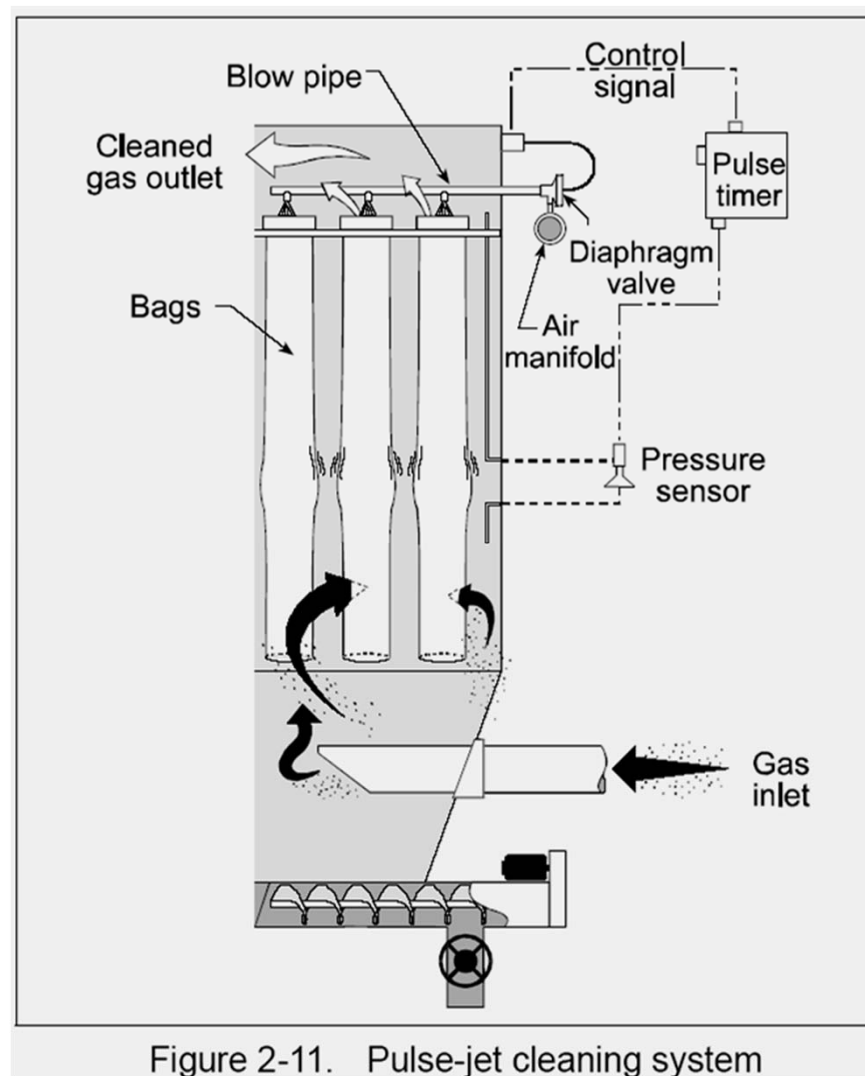
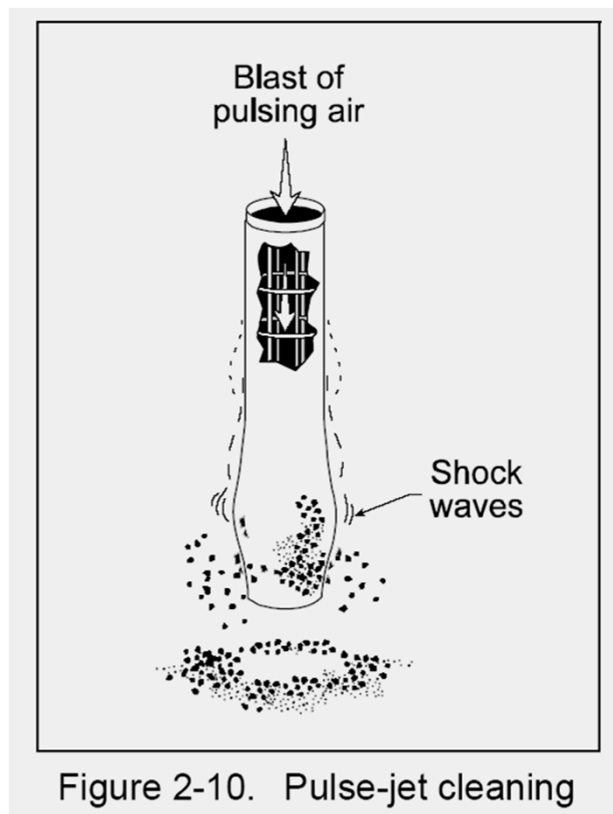
Σκόνες ή Καπνοί	Μέγιστη Ταχύτητα Διήθησης, cfm/ft ² ή ft/min
Ανθρακας, Γραφίτης, Ατμοί Μεταλλουργίας, Σαπούνι, Καθαριστικά, Οξείδιο Ψευδαργύρου	5 – 6
Τσιμέντο (Ακατέργαστο), Άργιλος (Πράσινη), Πλαστικά, Χρωστικές Ουσίες, Άμυλο, Ζάχαρη, Ξυλόσκονη, Ψευδάργυρος (Μεταλλικός)	7 – 8
Οξείδιο Αλουμινίου, Τσιμέντο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

*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.





Σακόφιλτρα δόνησης με αέρα υπό πίεση (pulse jet)





Pulse Jet Bag



Inside a Pulse Jet Baghouse

<http://www.valleyair.org>



Baghouse

<http://www.valleyair.org>



Λόγος Αέρα/υφάσματος

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ταχύτητα διήθησης

Table 6.2
Typical Air-to-Cloth Ranges

Baghouse Cleaning Method	Air-to-Cloth Ratio
Shaking	2-6 (ft ³ /min)/ft ²
Reverse air	1-3 (ft ³ /min)/ft ²
Pulse jet	5-15 (ft ³ /min)/ft ²

Table 6.4
Typical A/C Ratios [(ft³/min)/ft²] for Selected Industries

Industry	Fabric Filter, air-to-cloth ratio		
	Reverse air	Pulse jet	Mechanical shaker
Basic oxygen furnaces	1.5-2.0	6-8	2.5-3
Brick manufacturing	1.5-2.0	9-10	2.5-3.2
Castable refractories	1.5-2.0	8-10	2.5-3.0
Clay refractories	1.5-2.0	8-10	2.5-3.2
Detergent manufacturing	1.2-1.5	5-6	2.0-2.5
Electric arc furnaces	1.5-2.0	6-8	2.5-3.0
Feed mills	-	10-15	3.5-5.0
Ferroalloy plants	2.0	9	2.0
Glass manufacturing	1.5	-	-
Grey iron foundries	1.5-2.0	7-8	2.5-3.0
Iron and steel (sintering)	1.5-2.0	7-8	2.5-3.0
Lime kilns	1.5-2.0	8-9	2.5-3.0
Phosphate fertilizer	1.8-2.0	8-9	3.0-3.5
Phosphate rock crushing	-	5-10	3.0-3.5
Polyvinyl chloride production	-	7	-
Portland cement	1.2-1.5	7-10	2.0-3.0
Secondary aluminum smelters	-	6-8	2.0
Secondary copper smelters	-	6-8	-



Τυπικές βιομηχανικές εφαρμογές σακόφιλτρων

Table 7-1. Typical industrial applications for baghouses

Shaker	Reverse-air	Pulse-jet
Screening, crushing, and conveying of rock products Low temperature steel applications Metal working Mining operations Textiles Woodworking processes Chemical industry Food industry Coal-fired boilers	Cement kilns Lime kilns Electric steel furnaces Gypsum calcining Ore smelters and roasters Sintering plants Rock dryers Foundries Carbon black Magnesium oxide kilns Coal-fired boilers	Pharmaceuticals Food industry Woodworking Sinter plants Metal working Foundries Textiles Chemical industry Coal-fired boilers Asphalt batch plants Municipal waste incinerators

Ξηρό σύστημα ελέγχου του SO_2

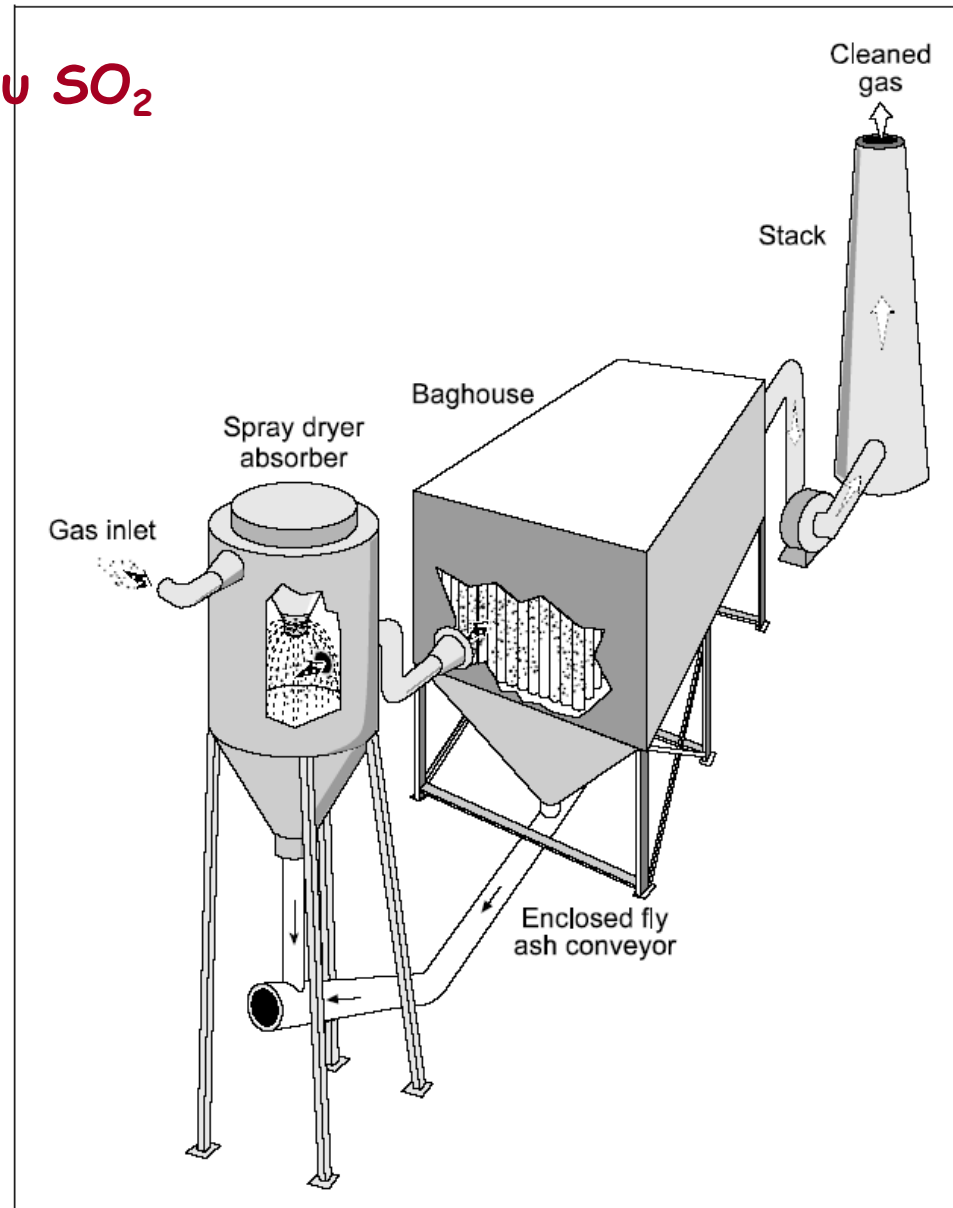


Figure 7-1. Spray dryer absorber and baghouse system

Baghouses are the equipment of choice for particulate emissions control of hot mix asphalt plants

