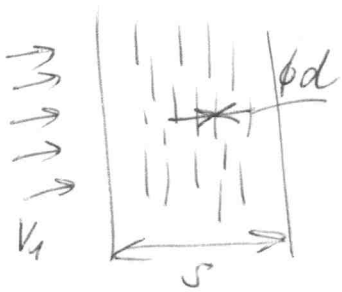


# Filtrace atmosférického vzduchu

- Rozdíly oproti průmyslové filtraci
  - koncentrace prachu
  - materiál se regeneruje
  - hloubková filtrace
  - poréznost vrstvy
- Odludivost závisí na vlastnostech vrstvy
- Ystřední filtrace, Evidenční filtrace

## Volebný vlastností vrstvy



Předpoklady: vlákna  $\parallel$ ,  $\perp$  na směr proudění vzduchu

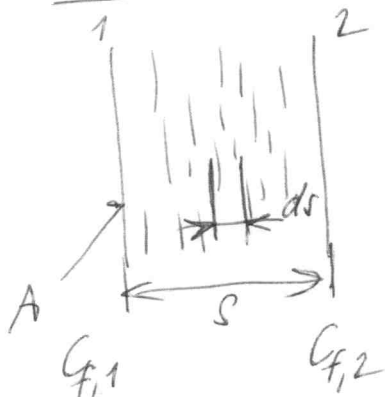
- vlákna mají stejný  $\phi d$
- vlákna jsou rovnoměrně rozdělena

poznámky:  $v_1$   $C$   
 $s$   $A$   
 $E$

$E_f$  - frakční odludivost vláknité vrstvy

$E_{f,D}$  - frakční odludivost izolované vlákna

## 1. Vztah mezi $E_{f,D}$ a $E_f$

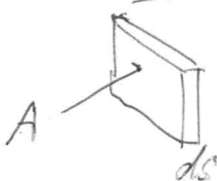


Pozn: koncentrace částic  $\leftarrow$  početní hmotnostní

Předpoklad: změny odludivost schopnosti izolované vlákna  $E_{f,D}$

## Postup odvození vztahu

objem vytknutého elementu vrstvy  $dV = A \cdot ds \rightarrow$   
 $\rightarrow$  objem vláken  $dV_v$  v elementu vrstvy  $dV \rightarrow$

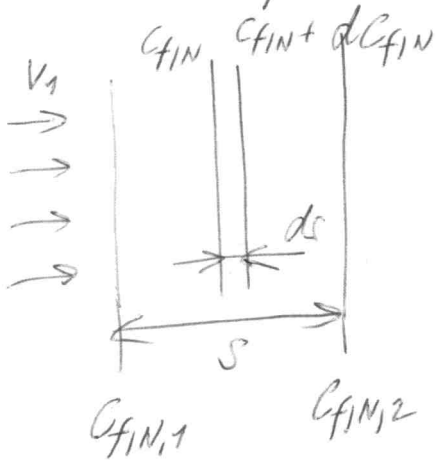


- délka vláken  $d_l$  v elementu vstupu  $dV \rightarrow$
- objemový průtok vzduchu  $d\dot{V}$  natékající na vlákna  $\phi d$  v elementu vstupu  $dV \rightarrow$
- počet částic  $d\dot{N}_f$  v nabíhajícímu proudu  $d\dot{V}$  na vlákna  $\rightarrow$
- počet odložených (zachycených) částic  $d\dot{N}_{f,2} = d\dot{N}_f \cdot E_{f,2}$

$$d\dot{N}_{f,2} = A \cdot ds \frac{4(1-\epsilon)}{\pi \epsilon} \frac{v_1}{d} C_{fIN} \cdot E_{f,2} \quad (1/s)$$

tok odložených částic

Současně platí:



pokles koncentrace částic o  $dC_{fIN}$

$$dC_{fIN} = - \frac{d\dot{N}_{f,2}}{v_1}$$

$$d\dot{N}_{f,2} = -A v_1 dC_{fIN}$$

$$A ds \frac{4(1-\epsilon)}{\pi \epsilon} \frac{v_1}{d} C_{fIN} \cdot E_{f,2} = -A v_1 dC_{fIN}$$

$$\frac{dC_{fIN}}{C_{fIN}} = - \underbrace{E_{f,2} \frac{4(1-\epsilon)}{\pi \epsilon} \frac{1}{d}}_{\psi} ds = -\psi ds$$

$$\ln \frac{C_{f,2}}{C_{f,1}} = -\psi \cdot s \Rightarrow \ln \frac{C_{f,2}}{C_{f,1}} = -\psi \cdot s$$

$$\left[ \frac{C_{f,2}}{C_{f,1}} = e^{-\psi s} \right]$$

Pozn.: frakční koncentrace  $C_f$

Odlučovací obecně

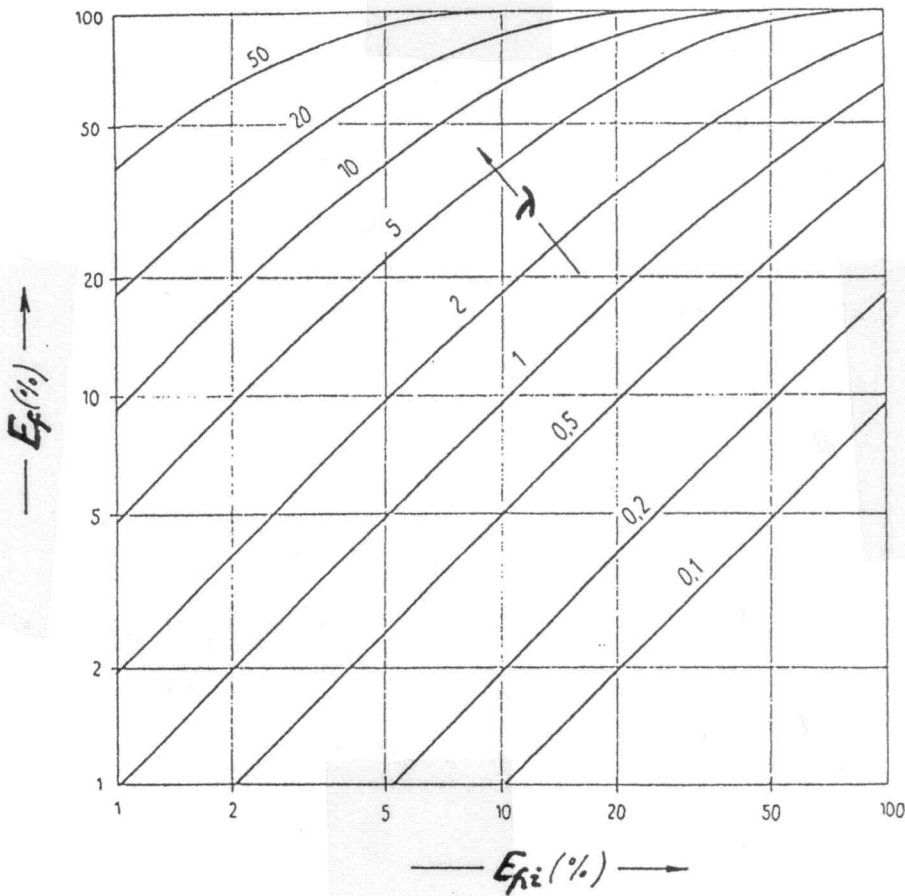
$$E_f = \frac{V(C_{f11} - C_{f12})}{V C_{f11}} = 1 - \frac{C_{f12}}{C_{f11}}$$

pro filtrační vrstvu

$$E_f = 1 - \frac{C_{f12}}{C_{f11}} = 1 - e^{-\psi \cdot s}$$

$$E_f = 1 - \exp \left[ -E_{fi,d} \frac{\psi(1-\epsilon)}{\pi \epsilon} \frac{s}{d} \right] = 1 - \exp \left[ -E_{fi,d} \cdot r \right]$$

$$r = \frac{\psi(1-\epsilon)}{\pi \epsilon} \frac{s}{d} \quad \text{parametr vrstvy}$$



Grafické vyjádření závislosti mezi  $E_{fi,d}$  a  $E_f$

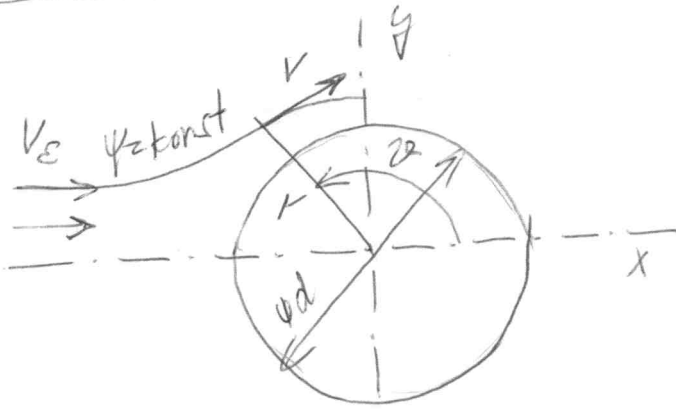
## 2. Frakční odlučivost izolovaného vlákna $E_{fi,d}$

působí základní odlučovací principy

princip aditivnosti  $E_{fi,d} = E_{sedus} + E_{dus} + E_{dof} + E_{dod}$

### 3. Proudové pole v okolí vláskna

= idealizovaný popis proudového pole v okolí vláskna (obtékání válce) - takové proudění, které lze popsat proudovou funkcí  $\Psi$



$\Psi$  (m<sup>2</sup>/s) ... proudová funkce  
 $\Psi = \theta$  ... poloha obtíkaného tělesa

$\Psi = \text{konst}$  ... rovnice proudnice

složky rychlosti obecně

$$v_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y}$$

$$v_y = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad \text{kartézské souřadnice}$$

$$v_r = \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}$$

$$v_\theta = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} \quad \text{polární souřadnice}$$

### 3 základní druhy proudového pole

- potenciální obtékání izolovaného vláskna
- vazké " "
- vazké obtékání s vlivem sousedních vlásken

u zemích vlásken - vliv skluza

### 3.1 Potenciální proudění

- nevazké a nevířivé proudění
- $D \rightarrow \theta \Rightarrow Re_D = \frac{V_\infty d}{\nu} \rightarrow \infty$

polární souřadnice

$$\Psi = d V_\infty \sin \zeta \left( \frac{r}{d} - \frac{d}{4r} \right)$$

$$v_r = V_\infty \left( 1 - \frac{d^2}{4r^2} \right) \cos \zeta$$

$$v_\theta = -V_\infty \sin \zeta \left( 1 + \frac{d^2}{4r^2} \right)$$

Kartézské souřadnice

$$\Psi = v_E y \left[ 1 - \frac{d^2}{4(x^2+y^2)} \right]$$

$$v_x = v_E \left[ 1 - d^2 \frac{x^2-y^2}{4(x^2+y^2)} \right]$$

$$v_y = -v_E \frac{d^2 xy}{2(x^2+y^2)}$$

- Potenšálový proudění - vhodné pouze pro hrubé filtry  
 - větší změny mezi sousedními proudnicemi

3.2 Vazké obtékaní izolovaného vlákna

$$Re_d = \frac{v_E d}{\nu}, \text{ předpoklad } Re_d < 1$$

$$\text{Lamb (1932)} \quad \frac{r}{d} < 1 \quad \left( \div \frac{r}{d} < 5 \right)$$

$$\Psi = \frac{d v_E \sin \vartheta}{4La} \left( \frac{d}{2r} - \frac{2r}{d} + \frac{4r}{d} \ln \frac{2r}{d} \right)$$

pro  $r = \frac{d}{2}$   
je  $\Psi = 0$

$La = 2 - \ln Re_d$  Lambův parametr

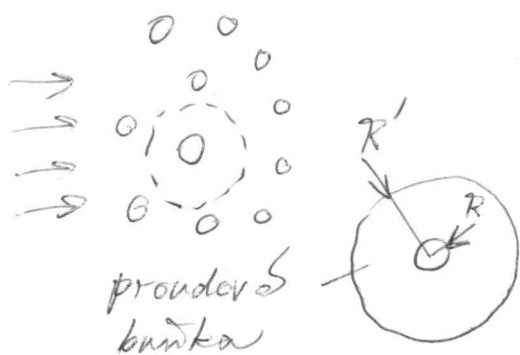
$$v_x = -\frac{v_E}{2La} \left( 1 - \frac{d^2}{4r^2} - 2 \ln \frac{2r}{d} \right) \cos \vartheta$$

$$v_\vartheta = -\frac{v_E}{2La} \left( 1 - \frac{d^2}{4r^2} + 2 \ln \frac{2r}{d} \right) \sin \vartheta$$

- tetutina  $\nu$  na povrchu vlákna
- změny mezi sousedními proudnicemi pomalejší

3.3 Vazké obtékaní vlákna ovlivněné přítomností sousedních

vláken



- vlákno není izolované
- proudové modely závislé na tvaru "proudové buňky" (fluid cell)

$$\frac{R^2}{R'^2} = c \quad \frac{R}{R'} = \sqrt{c}$$

$$\frac{d}{2R'} = \sqrt{1-\varepsilon}$$

Poměr objemu jednotkové délky vláskna k objemu proužkové buňky jednotkové délky je stejný jako hodnota objemového zaplnění  $C$

Kuwabara (1959)

O.P.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{na povrchu vláskna } v_r = v_\theta = 0 \\ \text{na povrchu buňky je vířivost } \omega = 0 \end{array} \right.$

pro  $\frac{r}{d} \leq \frac{1}{2\sqrt{1-\varepsilon}}$   $\psi = \frac{d v_\theta}{4k_u} \sin \vartheta \left[ \frac{d}{4r} (1+\varepsilon) - \frac{2r}{d} \varepsilon + \frac{4r}{d} \ln \frac{2r}{d} - \frac{4r^3}{d^3} (1-\varepsilon) \right]$

$$k_u = -\frac{1}{2} \ln(1-\varepsilon) + \frac{1}{4} - \varepsilon - \frac{(1-\varepsilon)^2}{4} \quad \text{Kuwabarův součinitel}$$

$$v_r = \frac{v_\theta}{2k_u} \left( 2 \ln \frac{2r}{d} - \varepsilon + \frac{d^2}{8r^2} (1+\varepsilon) - \frac{2r^2}{d^2} (1-\varepsilon) \right) \cos \vartheta$$

$$v_\theta = -\frac{v_\theta}{2k_u} \left( 2 \ln \frac{2r}{d} + 2 - \varepsilon - \frac{d^2}{8r^2} (1+\varepsilon) - \frac{6r^2}{d^2} (1-\varepsilon) \right) \sin \vartheta$$

Happel (1959), jenž O.P. na povrchu buňky

Zjednodušený model Kuwabara-Happel

Pöschl (1966) - úprava vztahů a zjednodušení

$$\psi = \frac{d v_\theta}{4k_u'} \sin \vartheta \left( \frac{d}{2r} - \frac{2r}{d} + \frac{4r}{d} \ln \frac{2r}{d} \right)$$

$$k_u' = -\frac{1}{2} \ln(1-\varepsilon) - \gamma \quad \text{modifikovaný Kuwabarův součinitel}$$

$$\gamma = 0,75 \quad \text{Kuwabara}$$

$$\gamma = 0,5 \quad \text{Happel}$$

$$v_r = -\frac{v_\theta}{2k_u'} \left( 1 - \frac{d^2}{4r^2} - 2 \ln \frac{2r}{d} \right) \cos \vartheta$$

$$v_\theta = -\frac{v_\theta}{2k_u'} \left( 1 - \frac{d^2}{4r^2} + 2 \ln \frac{2r}{d} \right) \sin \vartheta$$

### 3.4 Vazka' obtékání vlastna se stlažen

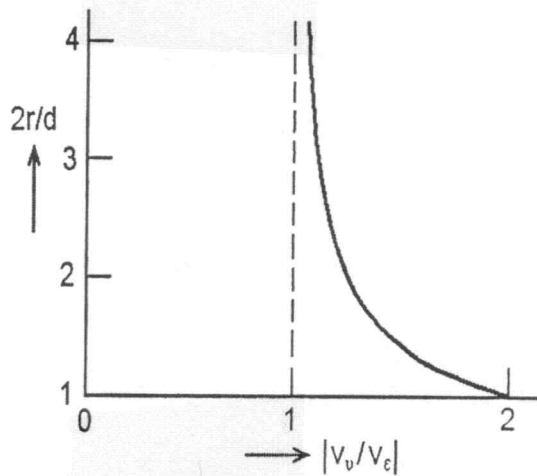
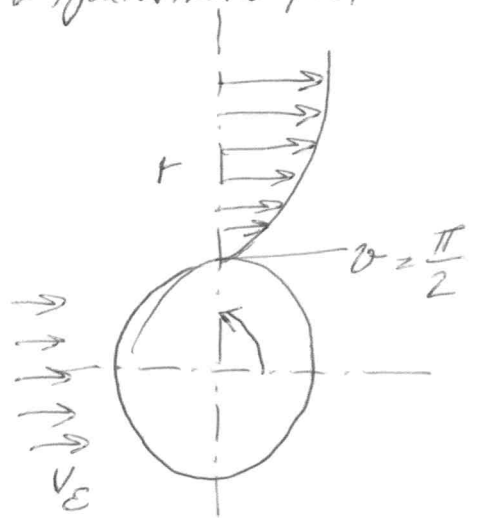
jemná vlákna - vliv stlažen  $\Rightarrow$  tekutina na povrchu vláknů nepří

$K_n = \frac{2R_m}{d}$  Kondenzatoro dířlo  $d_m = 0,065 \mu m$

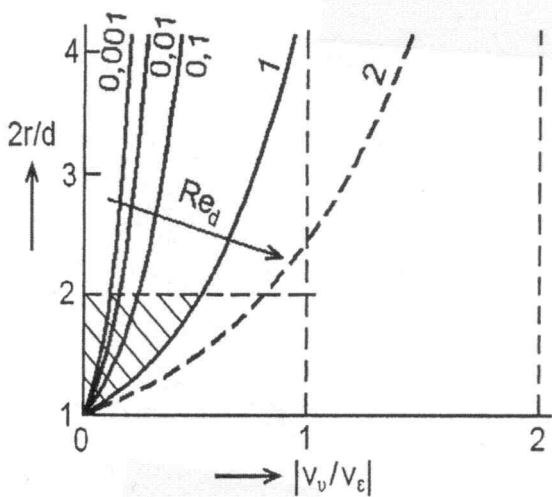
### 3.5. Porovnání základních prouduých polí

Nejvýznamnější změny je možno pozorovat u rychlostního profilu

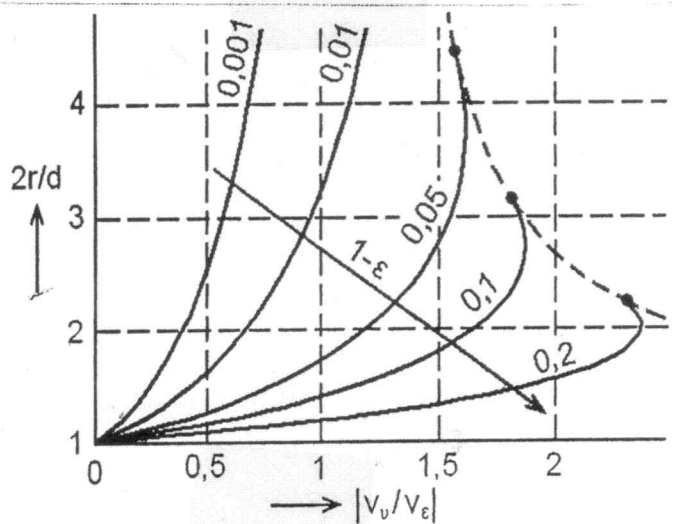
$v_\theta = f(r)$  ve směru  $\theta = \frac{\pi}{2}$



potenciální proudění



Lambovo vztě pole



Kuwabarovo pole s vlivem sousedních vláken