Szűrőszövet áramlástani ellenállása

(DR MARSCHALL JÓZSEF)

A nyomásesés a szöveten történő átáramlás során a szűrési sebességről, felületi porterheléstől és a szövet geometriájától függ:

$$\Delta p = f\left(v_s; q; \frac{d}{L}\right)[Pa]$$

Szűrési sebesség:

$$v_{sz} = \frac{q}{A_{sz}}\, m/s\left(\frac{m^3}{sm^2}\right)$$

Felületi porterhelés:

$$q_p = \frac{m_p}{A}\, kg/m^2$$

Változatlan geometria mellett a nyomásesés közelítőleg $\Delta p \cong \rho K v_{sz}$ [Pa] alakban írható, ahol K a szövet és a q_p felületi porterhelés függvénye. $K = f(q_p)$

A szövetelem két oldalán a nyomáskülönbséget levezethetően, mérésekkel igazoltan az alábbi összefüggés alapján határozhatjuk meg:

$\Delta p = \rho \cdot K \cdot v_{sz}$

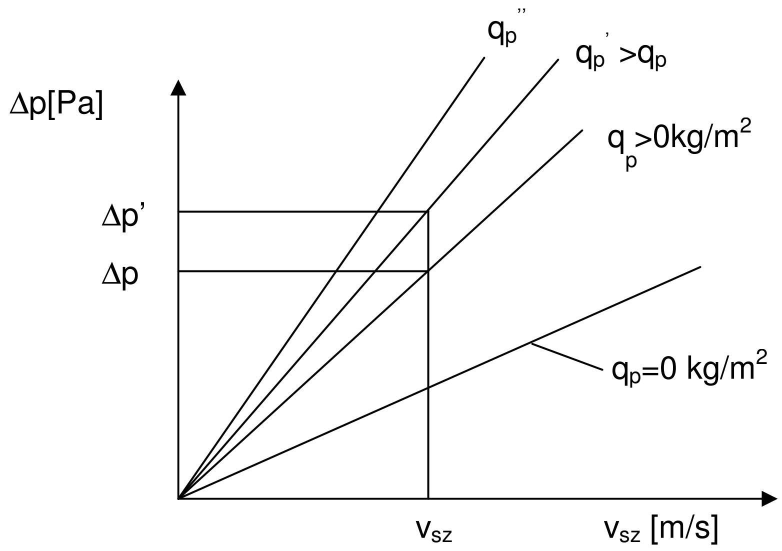
ahol ρ[kg/m^3] a por tartalmú közeg sűrűsége

K[m/s] arányossági tényező (adott por szövet esetén ellenállási tényező)

q[m^3/s] a szöveten átáramló térfogatáram

A_{sz}[m^2] szövet felülete

m_p[kg] a szöveten a por tömege



1. ábra

Az ábrán mérések alapján a tiszta és különböző felületi porterhelés esetén a nyomásesést a szűrési sebesség függvényében rajzoltuk föl.

A nyomásesés és a felületi porterhelés kapcsolatának meghatározására, vizsgáljuk az 1.ábra alapján, tetszőleges, v_{sz}=állandó mellett, $\Delta q = q' - q$ felületi porterhelés növekedés milyen mértékű relatív nyomásnövekedést okoz:

$$\frac{\Delta p' - \Delta p}{\Delta p} = \frac{K' - K}{K} = \frac{\Delta K}{K}$$

A jobboldal független a szűrési sebességtől, várhatóan arányos Δq felületi porterhelés növekményével, és $f(q_p)$ függvénykapcsolattal, amely egyesíti a por, szövet a por elhelyezkedését a szöveten stb., azaz közelítően írható:

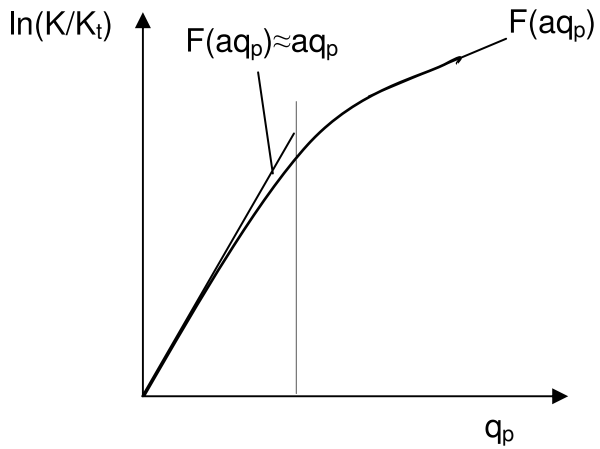
$$\frac{\Delta K}{K} \cong f(q_p ...) \cdot \Delta q_p$$

Határátmenettel és egyszeri integrálással:

$$\ln \frac{K}{K_t} \cong \int_0^{q_p} f(q_p ...) dq_p$$

ahol K_t [m/s] a q_p=0 [kg/m^2] azaz a tiszta szövet ellenállás tényezője

A jobboldali integrál mérési eredményekből kiszámítható. Az 1.ábra segítségével ln(K/K_t) kiszámítható és q függvényében grafikusan ábrázolható:



2. ábra

Célszerű a görbe alakjának ismeretében F(aq_p)-re valamilyen közelítéssel számolt görbe megadása is. (a[m^2/kg] az F függvényt dimenziótlanná teszi)

A gyakorlatban előforduló esetek többségében $F(aq_p) \approx aq_p$ egyenessel közelíthető.

A fentiek szerint tehát a szövet áramlástani ellenállása:

$\Delta p = \rho \cdot K \cdot v_{sz} = \rho \cdot K_t \cdot e^{F(aq_p)} \cdot v_{sz}$

A nyomásesés ezen definíciója tükrözi azt a gyakorlati tapasztalatot, hogy az ellenállás növekvő porterheléssel jobban nő (v_{sz}=áll. mellett), mint növekvő szűrési sebességgel (q_p=áll. mellett).

Ha elfogadjuk az $F(aq_p) \approx aq_p$ közelítést a nyomásesés, adott por és szövet esetére könnyen meghatározható. Megmérjük (t=0 sec-ben) a tiszta szövet -Δp_o- ellenállását, adott v_{szo}. mellett, így:

$$K_t = \frac{\Delta p_o}{\rho \cdot v_{szo}}$$

t=t'>0 idő elteltével a felületen q'_p por rakodott le. A t' időhöz tartozó q'_p értékét lerakodott por tömegméréséből határozhatjuk meg, ismerve a tiszta szövet tömegét, továbbá a t'-höz tartozó Δp' és v'_{sz} mért értékeit így:

$$a = \frac{1}{q'_p} \cdot \ln \frac{\Delta p'}{\rho \cdot K_t \cdot v'_{sz}}$$

A nyomásesés, szűrési sebesség, felületi porterhelés időbeli változásának vizsgálata

A szűrendő közeg szilárd anyag koncentrációja c [kg/m^3] időtől és helytől függetlenül legyen állandó. Feltételezve, hogy a szöveten szilárd szemcse nem jut át – leválasztás 100%-os- felületegységenként fölrakodott por Δt[sec] idő alatt Δq_p értékkel növekszik:

$\Delta q_p = c \cdot v_{sz} \cdot \Delta t$ [kg/m^2]

A felületi porterhelés növekménye az adott pillanathoz tartozó szűrési sebességgel arányos. A felületi porterhelés növekedése, pedig a szűrési sebesség csökkenéséhez, a nyomásesés növekedését eredményezi. A jelenség időben folyamatosan játszódik le.

Az időbeli változást a nyomásesés, a szűrési sebesség és a szűrési teljesítmény állandó értéken való tartása mellett vizsgájuk.

A továbbiakban a $\Delta p=\rho\cdot K\cdot v_{sz}=\rho\cdot K_t\cdot e^{aq_p}\cdot v_{sz}$ közelítő öszefüggést használjuk

- **a./ A Δp/ρ=áll, azaz időbeli változása zérus.**

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\Delta p}{\rho}\right)=0=K_t\cdot e^{aq_p}\frac{dv_{sz}}{dt}+K_t\cdot v_{sz}\cdot a\cdot e^{aq_p}\cdot\frac{dq_p}{dt}$$

$\frac{dq_p}{dt}=c\cdot v_{sz}$ fölhasználásával, rendezve az egyenletet,

$$\frac{dv_{sz}}{dt}=-v_{sz}^2\cdot a\cdot c$$

Megoldva a differenciál egyenletet a t=0. $q_p=0$, vsz= v_{sz0} kezdeti feltételekkel

A szűrési sebességre:

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}}=\frac{1}{1+a\cdot c\cdot v_{sz0}\cdot t}$$

A felületi porterhelésre:

$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}}=e^{-aq_p}$ egyenletből

$$q_p=\frac{1}{a}\cdot\ln\frac{v_{sz0}}{v_{sz}}=\frac{1}{a}\cdot\ln(1+a\cdot c\cdot v_{szo}\cdot t)$$

- **b./ A v_{sz} =áll, azaz időbeli változása zérus.**

Így a $\frac{dq_p}{dt}=c\cdot v_{sz}$ =áll., azaz

A felületi porterhelés:

$q_p=c\cdot v_{sz}\cdot t$

A nyomásesés:

$$\frac{\Delta p}{\rho}=K_t\cdot v_{szo}\cdot e^{aq_p}=K_t v_{szo}\cdot e^{acv_{szo}t}$$

- **c./ A $\frac{\Delta p}{\rho}\cdot v_{sz}=K_t\cdot v_{sz}^2\cdot e^{aq_p}$ =áll, azaz a szűrési teljesítményidőbeli változása zérus.**

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\Delta p}{\rho}\cdot v_{sz}\right)=0=K_t\cdot e^{aq_p}\cdot 2\cdot v_{sz}\frac{dv_{sz}}{dt}+K_t\cdot v_{sz}^2\cdot a\cdot e^{aq}\cdot\frac{dq_p}{dt}$$

Rendezve az egyenletet, $\frac{dq_p}{dt}=c\cdot v_{sz}$ fölhasználásával, a t=0 időpillanathoz tartozó kezdeti feltétellel q_p=0, $\frac{\Delta p_0}{\rho}\cdot v_{sz0}=K_t\cdot v_{sz0}^2\cdot$

$\frac{dv_{sz}}{dt}=-\frac{1}{2}v_{sz}^2\cdot a\cdot c$ alakra jutunk

Amelynek megoldása a szűrési sebességre:

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}}=\frac{1}{1+0{,}5\cdot a\cdot c\cdot v_{sz0}\cdot t}$$

A felületi porterhelésre:

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}} = e^{-\frac{1}{2}aq_p} \quad \text{egyenletből}$$

$$q_p = \frac{2}{a}\cdot\ln\frac{v_{sz0}}{v_{sz}} = \frac{2}{a}\cdot\ln(1+0{,}5\cdot a\cdot c\cdot v_{szo}\cdot t)$$

Megjegyzés:

A $\Delta p/\rho$=áll illetve a v_{sz} =áll elérése érdekében szabályozásra van szükség. A szűrési teljesítményidőbeli állandósága a ventilátor legjobb hatásfoka környezetében közelítőleg teljesül.

FELADATOK

1./Egy szűrőszövet **1m²-én 180m³/h** tiszta levegőt szívhatunk át, a nyomásesés **10 Pa**.

Az előzetes vizsgálat során a szövet ellenállás tényezőjét **$K=K_{tiszta}*\exp(a*q_p)$** alakban írhatjuk föl, ahol az állandó **a=2 m²/kg**, a felületi porterhelés **q_p [kg/m²]** -ben értendő**.**

(ρ=1,2 [kg/m³])

Állandó térfogatáram és belépő koncentráció c=10mg/m³ mellett, **mennyi idő múlva lesz a nyomásesés 150Pa?**

v_{sz}=180 m³/hm² =0,05m/s

$$K_{tiszta} = \frac{\Delta p}{\rho\cdot v_{sz}} = \frac{10}{1{,}2\cdot 0{,}05} = 166{,}6\,m/s$$

$$\Delta p = \rho\cdot K_t\cdot e^{a\cdot q}\cdot v_{sz} = 1{,}2\cdot 166{,}6\cdot e^{2\cdot 0{,}5\cdot 10^{-5}\cdot 0{,}05\cdot t}\cdot v_{sz}\cdot$$

Ha Δp=150, akkor $t=2{,}7\cdot 10^6$ sec

2./ Egy szűrőszövet ellenállása az alábbi összefüggés szerint számolható **$\Delta p = \rho K v_{sz}$** [Pa], ahol ρ[kg/m³] a levegő sűrűsége, **$K=10^3\exp(a\cdot q_p)$** az ellenállás tényező q_p[kg/m₂] a felületi porterhelés, v_{sz}[m//s] a szűrési sebesség.

Összetartozó mérési adatok fölhasználásával amelyek **v_{sz}=0,03m/s, ρ=1,2kg/m³, Δp =135Pa, q_p=1,35kg/m²** határozza meg:

Mennyit csökken a négyzetméterenkénti szűrt térfogatáram, ha a felületi porterhelés

q_p=1,0-1,5kg/m² között változik, miközben a nyomásesést **Δp=150Pa** állandó értéken tartjuk.

Mennyi idő alatt következik be a térfogatáram csökkenés?

Összetartozó értékekből:

$135=1{,}2\cdot 10^3\cdot e^{1{,}35\cdot a}\cdot 0{,}3$

a=0,98 m²/kg

Δp=150Pa q_p=1,0kg/m² esetén v_{sz1}=0,0469m/s

Δp=150Pa q_p=1,5kg/m² esetén v_{sz2}=0,0289m/s

Közelítőleg az átlagos szűrési sebesség $\overline{V}_{sz} \cong 0{,}5\cdot(v_{sz1}+v_{sz2})=0{,}0374$

Azaz Δq_p=0,5kg/m², így $\Delta t=\Delta q_p/c\cdot\overline{V}_{sz}$=13369 sec

Megjegyzés:

$$\frac{v_{szi}}{v_{sz0}} = e^{-a \cdot q_p}$$

ha q_p=1,0kg/m^2 $v_{sz1}=v_{sz0}\cdot 0{,}375$

ha q_p=1,5kg/m^2 $v_{sz2}=v_{sz0}\cdot 0{,}223$

$$\frac{v_{szi}}{v_{sz0}} = \frac{1}{a \cdot c \cdot t_i \cdot \left(\frac{v_{sz0}}{v_{szi}}\right) \cdot v_{szi} + 1}$$

v_{sz1}=0,0469m/s, és v_{sz1}/v_{sz0}=0,375 esetén t_1=13598sec

v_{sz1}=0,0289m/s, és v_{sz1}/v_{sz0}=0,223 esetén t_2=27434sec

$\Delta t=t_2-t_1$=13836 sec, az eltérés 1% körüli érték

3./ Egy szövetszűrő **hány napig üzemelhet** csere nélkül, ha a szűrési sebesség állandó működésé folyamatos, végnyomása **Δp_v= 500 Pa.** A nyomásesés $\Delta p=\rho\cdot K_o\cdot v_{sz}\cdot e^{a\cdot q_{por}}$ alakban közelíthető, K_o=áll., a=áll.(ρ=1,2kg/m^3)

Mérési adataink:

Kezdeti értékek t=0sec Δp_0=120Pa v_{sz0}=0,50m/s

q_{por}=0 kg/m^2

60. napon történt ellenőrzés során Δp=384Pa v_{sz}=0,50m/s q_{por}=0,259 kg/m^2

A belépő porkoncentráció c_o=0,1mg/m^3 .

$K_0=\Delta p_0/\rho\ v_{sz0}$=120/1,2·0,5=200m/s

$\Delta p=\rho\cdot K_0\cdot e^{a\cdot q}\cdot v_{sz}$ egyenletből a=4,08 m^2/kg

500Pa nyomáseséshez tartozó felületi porterhelés q_{pmax}

$$q_{pmax} = \frac{1}{a} \cdot \ln\left(\frac{\Delta p_v}{\rho \cdot K_0 \cdot v_{sz}}\right) = 0{,}35 \text{ kg/m}^2$$

azaz t= $q_{pmax}/c\cdot v_{sz}=7{,}0\cdot 10^6$sec

4./ Egy síkszövet ellenállása **$\Delta p=\rho K v_{sz}$**, a közeg sűrűsége **1,2 kg/m^3** , az ellenállás tényező **K=400exp(4,5*q_p),m/s** ahol **q_p** kg/m^2 a felületi porterhelés. A **t=0 sec-ban, q_p=0 kg/m^2, v_{szo}=0,1 m/s, Δp_o** . Az ehhez tartozó szűrési teljesítményt, a **Δp_o*v_{szo}** szorzatot időben állandónak tartva, számítsa ki, a szűrési sebesség 5 perc elteltével mennyit csökken a szűrési sebesség, mennyit nő a nyomásesés, mekkora a felületi porterhelés. ha a porkoncentráció **c=5 g/m^3** állandó.

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}} = \frac{1}{0{,}5 \cdot a \cdot c \cdot t \cdot v_{sz} + 1}$$

t=300sec $v_{sz}=v_{sz0}\cdot 0{,}747$

$\Delta p=\Delta p_0 \dfrac{v_{szo}}{v_{sz}}$ $\Delta p_0=1{,}2\cdot 400\cdot 0{,}1$=48Pa

Δp=64,2Pa növekedés25,3%

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}} = e^{-0{,}5 \cdot a \cdot q_p}$$

q_p=0,129kg/m^2