

### Szűrőszövet áramlástani ellenállása

(DR MARSCHALL JÓZSEF)

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

$$\Delta p = f\left(v_{sz}; q_p; \frac{d}{L}\right) [\text{Pa}]$$

Szűrési sebesség:

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

Felületi porterhelés:

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

Változatlan geometria mellett a nyomásesés közelítőleg  $\Delta p \cong \rho K v_{sz} [\text{Pa}]$

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:

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

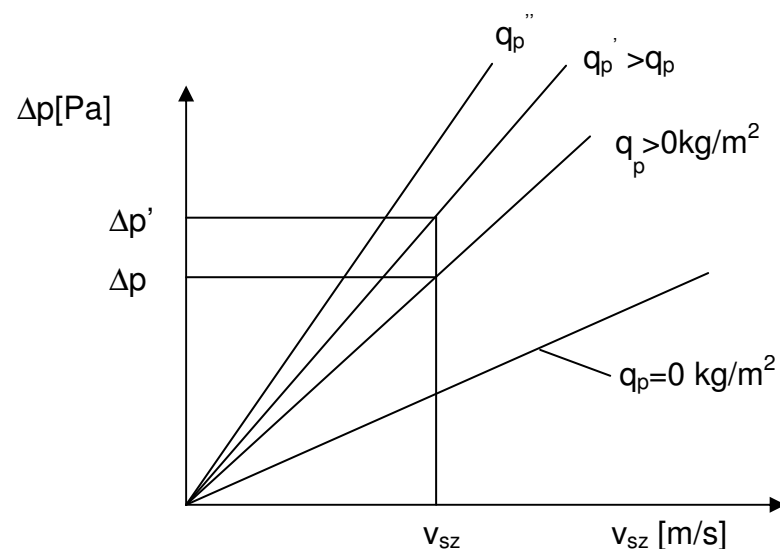
ahol  $\rho [\text{kg/m}^3]$  a por tartalmú közeg sűrűsége

$K [\text{m/s}]$  arányossági tényező (adott por szövet esetén ellenállási tényező)

$q [\text{m}^3/\text{s}]$  a szöveten átáramló térfogatáram

$A_{sz} [\text{m}^2]$  szövet felülete

$m_p [\text{kg}]$  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,  $v_{sz} = \text{állandó}$  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  $\Delta q$  felületi porterhelés növekményével, és  $f(q_p)$  függvénykapcsolattal, amely egyesíti a por, szövet a por elhelyezkedését a szöveten stb., azaz közelítően írható:

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

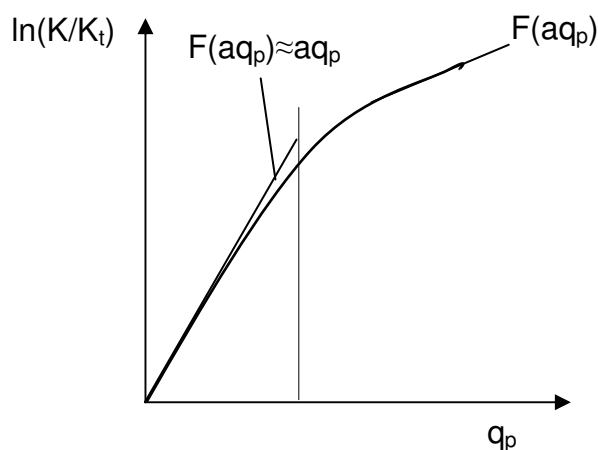
Határátmenettel és egyszeri integrálással:

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

ahol  $K_t$  [m/s] a  $q_p=0$  [kg/m<sup>2</sup>] azaz a tiszta szövet ellenállás tényezője

A jobboldali integrál mérési eredményekből kiszámítható. Az 1. ábra segítségével

$\ln(K/K_t)$  kiszámítható és  $q$  függvényében grafikusán ábrázolható:



2. ábra

Célszerű a görbe alakjának ismeretében  $F(aq_p)$ -re valamilyen közelítéssel számolt görbe megadása is. ( $a$  [m<sup>2</sup>/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  $-\Delta p_0$ -ellenállását, adott  $v_{sz0}$  mellett, így:

$$K_t = \frac{\Delta p_0}{\rho \cdot v_{sz0}}$$

$t=t' > 0$  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  $\Delta p'$  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 szürendő közeg szilárd anyag koncentrációja  $c$  [kg/m<sup>3</sup>] időtől és helytől függetlenül legyen állandó. Feltételezve, hogy a szöveten szilárd szemcse nem jut át – leválasztás 100%-os- felületegységként fölrakodott por  $\Delta t$ [sec] idő alatt  $\Delta q_p$  értékkel növekszik:

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

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 vizsgáljuk.

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

- **a./ A  $\Delta p/\rho = \text{áll}$ , azaz időbeli változása zérus.**

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

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

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

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

A szűrési sebességre:

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

A felületi porterhelésre:

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

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

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

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

A felületi porterhelés:

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

A nyomásesés:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = K_t \cdot v_{sz0} \cdot e^{aq_p t}$$

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

**teljesítményidőbeli változása zérus.**

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

Rendezve az egyenletet,  $\frac{dq_p}{dt} = c \cdot v_{sz}$  fölhasználásával, a  $t=0$  időpillanathoz

$$\text{tartozó kezdeti feltétellel } q_p=0, \frac{\Delta p_0}{\rho} \cdot v_{sz0} = K_t \cdot v_{sz0}^2 \cdot$$

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

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 portterhelésre:

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

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

Megjegyzés:

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

#### FELADATOK

1./ Egy szűrőszövet **1m<sup>2</sup>-én 180m<sup>3</sup>/h** tiszta levegőt szívhatunk át, a nyomásesés **10 Pa**.

Az előzetes vizsgálat során a szövet ellenállás tényezőjét  **$K = K_{\text{tiszta}} \cdot \exp(a \cdot q_p)$**  alakban írhatjuk föl, ahol az állandó  **$a = 2 \text{ m}^2/\text{kg}$** , a felületi portterhelés  **$q_p$  [kg/m<sup>2</sup>]** -ben értendő.

**( $\rho = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ )**

**Állandó térfogatáram és belépő koncentráció  $c = 10 \text{ mg/m}^3$  mellett, mennyi idő múlva lesz a nyomásesés 150 Pa?**

$$v_{sz} = 180 \text{ m}^3/\text{hm}^2 = 0,05 \text{ m/s}$$

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

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

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

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

Összetartozó mérési adatok fölhasználásával amelyek  **$v_{sz} = 0,03 \text{ m/s}$ ,  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Delta p = 135 \text{ Pa}$ ,  $q_p = 1,35 \text{ kg/m}^2$**  határozza meg:

Mennyit csökken a négyzetméterenkénti szűrt térfogatáram, ha a felületi portterhelés

**$q_p = 1,0 - 1,5 \text{ kg/m}^2$**  között változik, miközben a nyomásesést  **$\Delta p = 150 \text{ Pa}$**  állandó értéken tartjuk.

Mennyi idő alatt következik be a térfogatáram csökkenés?

Összetartozó értékekből:

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

$$a = 0,98 \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$\Delta p = 150 \text{ Pa } q_p = 1,0 \text{ kg/m}^2 \text{ esetén } v_{sz1} = 0,0469 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = 150 \text{ Pa } q_p = 1,5 \text{ kg/m}^2 \text{ esetén } v_{sz2} = 0,0289 \text{ m/s}$$

$$\text{Közeliítőleg az átlagos szűrési sebesség } \bar{v}_{sz} \cong 0,5 \cdot (v_{sz1} + v_{sz2}) = 0,0374$$

$$\text{Azaz } \Delta q_p = 0,5 \text{ kg/m}^2, \text{ így } \Delta t = \Delta q_p / c \cdot \bar{v}_{sz} = 13369 \text{ sec}$$

Megjegyzés:

$$\frac{v_{sz1}}{v_{sz0}} = e^{-a \cdot q_p}$$

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

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

$$\frac{v_{sz1}}{v_{sz0}} = \frac{1}{a \cdot c \cdot t_i \cdot \left( \frac{v_{sz0}}{v_{sz1}} \right) \cdot v_{sz1} + 1}$$

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

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

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

3./ Egy szövetiszűrő **hány napig üzemelhet** csere nélkül, ha a szűrési sebesség állandó működésé folyamatos, végnyomása  $\Delta p_v = 500 \text{ Pa}$ . A nyomásesés  $\Delta p = \rho \cdot K_0 \cdot v_{sz} \cdot e^{-a \cdot q_{por}}$  alakban közelíthető,  $K_0 = \text{áll.}$ ,  $a = \text{áll.}$  ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ )

Mérési adataink:

Kezdeti értékek  $t=0 \text{ sec}$   $\Delta p_0 = 120 \text{ Pa}$   $v_{sz0} = 0,50 \text{ m/s}$   
 $q_{por} = 0 \text{ kg/m}^2$

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

A belépő porkoncentráció  $c_0 = 0,1 \text{ mg/m}^3$ .

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

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

500Pa nyomáseséshez tartozó felületi portterhelés  $q_{pmax}$

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

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

4./ Egy síkszövet ellenállása  $\Delta p = \rho K v_{sz}^3$ , a közeg sűrűsége  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , az ellenállás tényező  $K = 400 \exp(4,5 \cdot q_p)$ ,  $\text{m/s}$  ahol  $q_p$   $\text{kg/m}^2$  a felületi portterhelés. A  $t=0 \text{ sec}$ -ban,  $q_p=0 \text{ kg/m}^2$ ,  $v_{sz0}=0,1 \text{ m/s}$ ,  $\Delta p_0$ . Az ehhez tartozó szűrési teljesítményt, a  $\Delta p_0 \cdot v_{sz0}$  szorzatot időben állandónak tartva, számítsa ki,

a szűrési sebesség 5 perc elteltével mennyit csökken a szűrési sebesség, mennyit nő a nyomásesés, mekkora a felületi portterhelés, ha a porkoncentráció  $c=5 \text{ g/m}^3$  állandó.

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}} = \frac{1}{0,5 \cdot a \cdot c \cdot t \cdot v_{sz} + 1} \quad t=300 \text{ sec} \quad v_{sz}=v_{sz0} \cdot 0,747$$

$$\Delta p = \Delta p_0 \frac{v_{sz0}}{v_{sz}} \quad \Delta p_0 = 1,2 \cdot 400 \cdot 0,1 = 48 \text{ Pa}$$

$\Delta p = 64,2 \text{ Pa}$  növekedés 25,3%

$$\frac{v_{sz}}{v_{sz0}} = e^{-0,5 \cdot a \cdot q_p} \quad q_p = 0,129 \text{ kg/m}^2$$