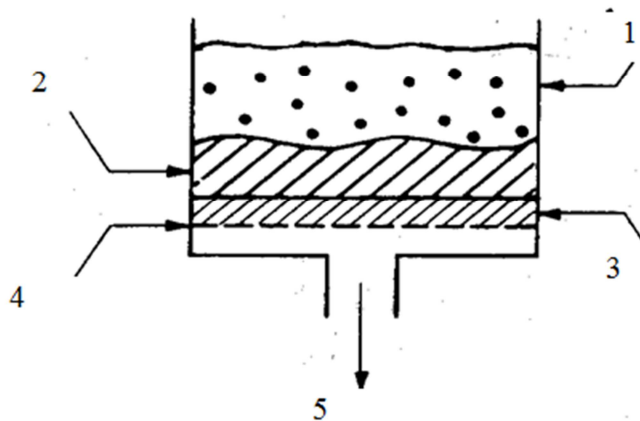


Szűrési gyakorlat keretes szűrőpréssel.

1. Elméleti bevezetés

A szűrés nyomáskülönbség, mint hajtóerő hatására végbemenő hidrodinamikai elválasztási művelet. Célja a folyadék-szilárd rendszerek (szuszpenziók) vagy gáz-szilárd rendszerek (poros levegő), illetve gáz-folyadék rendszerek szétválasztása.

Folyadék-szilárd rendszerek szűrésénél a szuszpenziót (szűrőközeget) pórusos szemcsehalmaz rétegen vezetjük keresztül, amely a lebegő szilárd részecskéket visszatartja, a folyadékot pedig átengedi.



1. ábra. A szűrés elvi vázlata

1-szuszpenzió, 2-iszapréteg (iszaplepény), 3-szűrőközeg, 4-tartórács, 5-szűrlet (filtrátum)

A szilárd anyag tehát fennmarad a szűrőközeg felületén, a folyadék pedig a szűrőfelület előtt és után levő nyomáskülönbség hatására átáramlik a szűrőközeg pórusain. A szűrés előrehaladásával lerakódó iszapréteg maga is szűrőréteget képez. A lerakódott iszapréteg vastagsága döntő mértékben befolyásolja a szűrő teljesítményét.

1.1. Az iszapréteg ellenállása

Darcy már 1830-ban tanulmányozta Dijonban a víz homokrétegen keresztül kialakuló szűrési sebességét. Mérései azt igazolták, hogy a szűrési sebesség egyenesen arányos a nyomás-különbséggel, de fordítva arányos a folyadékfázis viszkozitásával és az iszapréteg vastagságával:

$$v = \frac{1}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) = B \frac{\Delta p_\ell}{\eta \ell} \quad (1)$$

ahol v a szűrési sebesség, V a szűrlettérfogat [m^3], A a szűrőfelület [m^2], η a szűrlet dinamikai viszkozitása [$\text{Pa}\cdot\text{s}$], ℓ az iszapréteg (iszaplepeny) vastagsága [m], t a szűrési idő [s], Δp_ℓ az iszaprétegen kialakuló nyomásesés [N/m^2], B a szűrőréteg un. permeabilitási (áteresztési) együtthatója [m^2].

Az (6.1-1) kifejezés összhangban van a szemcsehalmazon keresztül történő lamináris áramlás elméletével, pontosabban a *Blake-Kozeny*-egyenlettel, [Fonyó-Fábry könyv (3.61) egyenlete, 94 old.]. Kifejezve abból az átlagos sebességet:

$$v = \frac{1}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) = \left[\frac{\varepsilon^3}{K (1 - \varepsilon)^2 \omega_p^2} \right] \frac{\Delta p_\ell}{\eta \ell} \quad (2)$$

adódik, amelyből a zárójeles kifejezés összevonásával és a B permeabilitási együttható beírásával kapjuk a Darcy-féle egyenletet. A (2) összefüggésben K állandó, ω_p a szilárd részecskék fajlagos felülete [m^2/m^3], ε a relatív hézagtérfogat [m^3/m^3].

Az (1) egyenletből az iszapréteg nyomásesés kifejezése:

$$\Delta p_\ell = \frac{\eta}{A} \frac{\ell}{B} \left(\frac{dV}{dt} \right) \quad (3)$$

Az [m^{-1}] mértékegységű (ℓ/B) iszapréteg ellenállás helyett, szokásos az

$$\ell/B = (\alpha c V)/A$$

használata, ahol α a fajlagos iszapellenállás [m/kg], c pedig az egységnyi térfogatú szűrletből felhalmozódó részecskék tömege [kg/m^3]:

$$\Delta p_\ell = \frac{\eta}{A} \left(\alpha c \frac{V}{A} \right) \left(\frac{dV}{dt} \right). \quad (4)$$

Az (ℓ/B) iszapréteg ellenállása helyett az $(\alpha c V)/A$ összefüggés használata azért célszerűbb, mert ebben kifejezésre jut az iszapréteg ellenállás függősége a V szűrlettérfogattól: növekvő szűrlettérfogathoz növekvő ellenállás tartozik.

Részletesebben ez azt jelenti, hogy az ℓ iszapréteg vastagság kifejezhető az iszaprétegre felírt anyagmérlegből:

$$\ell A (1 - \varepsilon) \rho_p = c (V + \varepsilon \ell A),$$

ahol ρ_p a részecskék sűrűsége. Az utolsó tag az iszaprétegbe zárt szűrlettérfogat. Ez elhanyagolhatóan kicsi, így jó közelítéssel:

$$\ell = \frac{c V}{A (1 - \varepsilon) \rho_p} \quad (5)$$

A (2) és (5) egyenletből kapjuk:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_\ell A}{\eta} \left(\frac{\varepsilon^3 \rho_p}{K(1-\varepsilon)\omega_p^2} \right) \left(\frac{A}{cV} \right),$$

ill. Az “ α = fajlagos iszapellenállás” bevezetésével

$$\alpha = \frac{K(1-\varepsilon)\omega_p^2}{\varepsilon^2 \rho_p} \quad (6)$$

a (2) egyenlet a (4) egyenletté alakul át:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p_\ell A}{\eta \left(\alpha c \frac{V}{A} \right)}.$$

1.2. A szűrőközeg ellenállása

A szűrés műveleténél a szűrlet átáramlásához az iszapréteg ellenállása mellett $[(\alpha c V)/A]$, további ellenállások legyőzése szükséges. Ezek:

- a szűrőközeg (szűrővászon) ellenállása és
- a szűrőberendezés vezetékének és szerelvényeinek ellenállása.

A továbbiakban e két ellenállás értéket összevonjuk, R_m -mel jelöljük és a szűrőközeg ellenállása néven együttesen kezeljük.

A (4) egyenlethez hasonló formában felírva a szűrőközeg Δp_m nyomásesését:

$$\Delta p_m = \frac{\eta}{A} R_m \left(\frac{dV}{dt} \right) \quad (7)$$

ahol R_m a szűrőközeg ellenállása [1/m].

A szűrő berendezés teljes ellenállása a Δp_ℓ és Δp_m nyomásesések összege:

$$\Delta p = \Delta p_\ell + \Delta p_m = \frac{\eta}{A} \left(\frac{dV}{dt} \right) \left(\alpha c \frac{V}{A} + R_m \right) \quad (8)$$

A (6.1-8) egyenletet átrendezve az ún. *Carman-féle szűrési egyenletet* kapjuk:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta p \cdot A}{\eta \left(\alpha c \frac{V}{A} + R_m \right)} \quad (9)$$

A szűrést állandó nyomáson végezve a (9) egyenlet integrálható:

$$\int_0^t dt = \frac{\eta}{A\Delta p} \left(\frac{\alpha c}{A} \int_0^V V dV + R_m \int_0^V dV \right) \quad (10)$$

vagyis:

$$t = \frac{\eta}{\Delta p} \left[\frac{\alpha c}{2} \left(\frac{V}{A} \right)^2 + R_m \frac{V}{A} \right] \quad (11)$$

Ebből a szűrlettérfogat:

$$V = \frac{A}{\alpha c} \left(\sqrt{R_m^2 + \frac{2\alpha c t \Delta p}{\eta}} \right) - \frac{AR_m}{\alpha c} \quad (12)$$

1.2. Szűrési állandók meghatározása

A (9) egyenlet az alábbi alakban is felírható:

$$\frac{dt}{dV} = aV + b \quad (13)$$

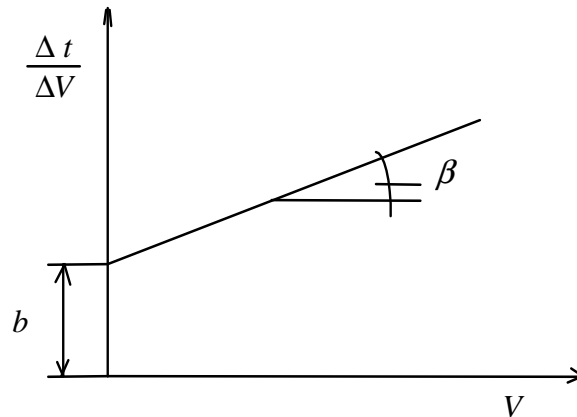
ahol: $a = \frac{\alpha c \eta}{A^2 \Delta p}$, az egyenes meredeksége

és $b = \frac{R_m \eta}{A \Delta p}$, az egyenes tengelymetszete az ordinátán

Mivel

$$\frac{dt}{dV} \cong \frac{\Delta t}{\Delta V}, \quad (14)$$

a mérések egy olyan diagramon ábrázolhatók, ahol $\frac{\Delta t}{\Delta V}$ értékeket ábrázoljuk a V szűrlettérfogat függvényében:



2. ábra. Szűrési konstansok meghatározása.

ahol $a = t g \beta = \frac{\alpha c \eta}{A^2 \Delta p}$. Az egyenes meredeksége a , és tengelymetszete b értékéből a két szűrési állandó: αc és R_m számítható.

1.3. Optimális szűrési idő meghatározása.

Jelöljük a lehetséges legnagyobb szűrési időt t_{\max} -al. Ennek nagyságát két tényező szabja meg:

- 1) a szűrendő oldat mennyisége ($V_{\bar{o}}$ összes szűrlet térfogat),
- 2) az a tény, hogy a szűrő iszap térfogata korlátozott ($V_{\text{iszap}})_{\max}$, mégpedig

$$(V_{\text{iszap}})_{\max} = l_{\max} \cdot A = k V \quad (15)$$

ahol l_{\max} az iszapréteg maximális vastagsága, V a leszűrt szűrlet térfogat, k állandó. Gyakran előfordul, hogy,

$$V_{\bar{o}} > \frac{(V_{\text{iszap}})_{\max}}{k},$$

ilyenkor a feldolgozandó oldatot több részletben kell leszűrni. Az egy részletben feldolgozandó oldat mennyiségét azonban nem célszerű a szűrő iszap térfogata alapján a (15) egyenletből megállapítani, mert az iszaplepleny vastagodásával áramlási ellenállása is megnő, a (1) egyenletben definiált szűrési sebesség pedig csökken. Belátható, hogy a csökkenő sebesség rontja a szűrés gazdaságosságát. Ezért a tényleges szűrési időt t_{\max} -nál kisebbre szokták választani.

Egy teljes szűrési periódus ideje ($t_{\bar{o}}$) két részre bontható:

a.) egy ún. *állásidőre* (t_a), amely magába foglalja a mosást, a szűrőlepleny eltávolítását, a vászon mosását és keretes szűrőpréseknél a berendezés össze- és szétszerelésének idejét, és

b.) a *tényleges szűrési időre* (t_{sz})

$$t_{\bar{o}} = t_a + t_{sz} \quad (16)$$

Az optimális szűrési idő meghatározásánál voltaképpen az időegység alatt leszűrt szűrlettérfogat (szűrési teljesítmény) maximumát keressük, vagyis a következő kifejezés maximumát:

$$\frac{V}{t_{\bar{o}}} = \frac{V}{t_a + t_{sz}}. \quad (17)$$

A szűrlettérfogat-szűrési idő összefüggést a (12) egyenlet írja le. A $V(t_{\bar{o}})$ függvénykapcsolatot jelöljük formálisan:

$$V = f(t_{\bar{o}}) \quad (18)$$

A (18) egyenletnek ott van szélsőértéke, ahol:

$$\frac{d\left(\frac{V}{t_{\bar{o}}}\right)}{dt_{\bar{o}}} = \frac{d\left(\frac{f(t_{\bar{o}})}{t_{\bar{o}}}\right)}{dt_{\bar{o}}} = 0 \quad (19)$$

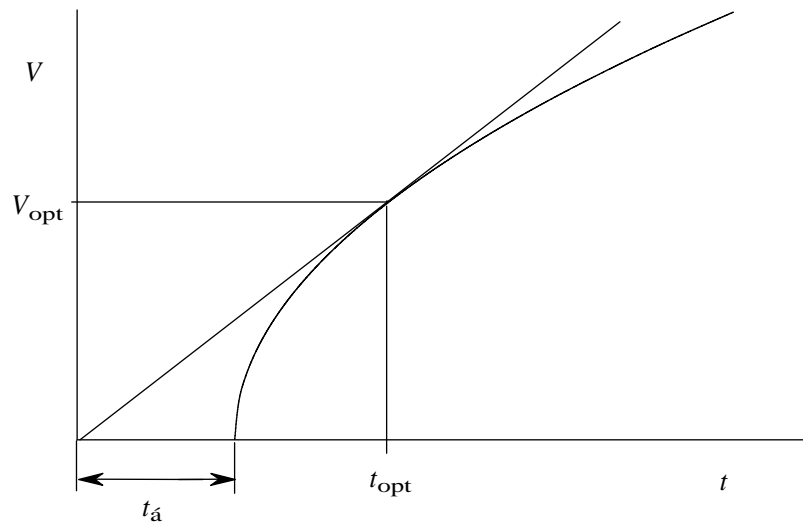
Tört differenciálhányadosa:

$$\frac{d\left(\frac{f(t_{\bar{o}})}{t_{\bar{o}}}\right)}{dt_{\bar{o}}} = \frac{t_{\bar{o}}f'(t_{\bar{o}}) - f(t_{\bar{o}})}{t_{\bar{o}}^2} = 0 \quad (20)$$

Ebből:

$$f'(t_{\bar{o}}) = \frac{f(t_{\bar{o}})}{t_{\bar{o}}}. \quad (21)$$

Vagyis, az optimum helyén a differenciálhányados megegyezik a V/t_{opt} hányadossal.

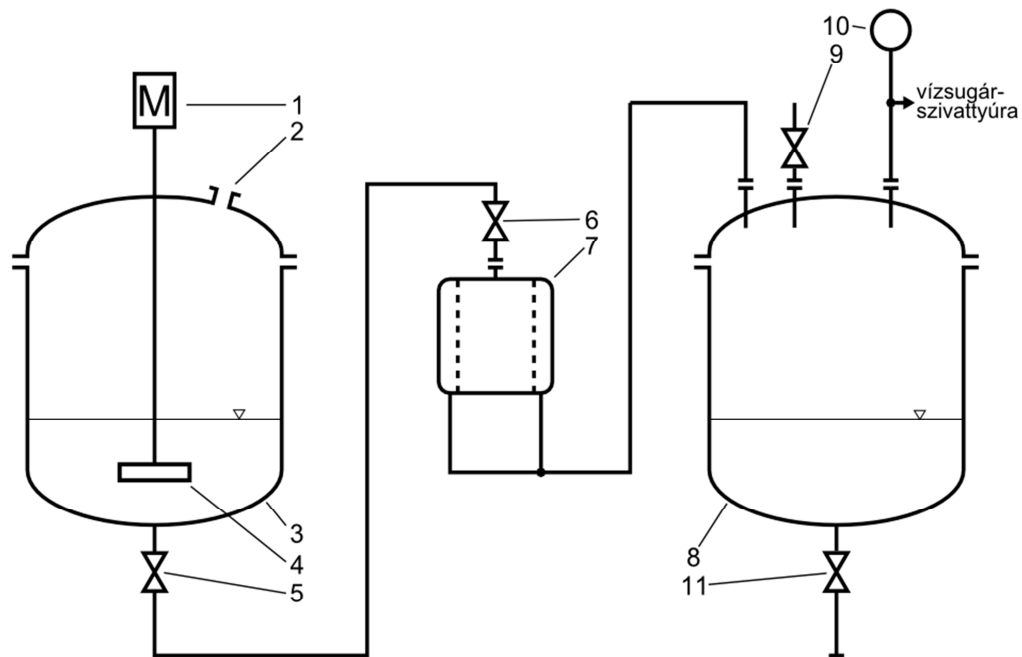


3. ábra. Optimális szűrési idő grafikus meghatározása.

A fenti egyenletet legegyszerűbben grafikusan oldjuk meg. Ábrázoljuk a le-
szűrt térfogatot az idő (t) függvényében (3 ábra). Az origóból meghúzzuk a gör-
béhez rajzolható érintőt, mely az optimális szűrési időnek megfelelő maximális
iránytangenszt jelenti és megfelel a maximális (V/t_δ) -szűrési teljesítménynek.

A fenti módszer általánosan alkalmazható minden szakaszos művelet optimu-
mának meghatározására, amennyiben a termék árát nagymértékben az előállítási
idő határozza meg.

1.4. Szűrési gyakorlat leírása



1 – keverőmotor, 2 – betöltőnyílás, 3 – adagolótartály, 4 – keverőlapát, 5 – csap, 6 – csap, 7 – szűrőprés, 8 – szűrlettartály, 9 – nyomásszabályozó-csap, 10 – manométer, 11 – leeresztőcsap

4. ábra Szűrőprés folyamatábrája

A laboratóriumi méréshez használt szűrőprés folyamatábrája látható a 4. ábrán. A mérés megkezdése előtt győződjünk meg róla, hogy az 5, 11 csapok zárt, a 6, 9 csapok pedig nyitott állásban vannak (4. ábra). A mérés megkezdése előtt össze-szereljük a szűrőprést, majd a vezetékek csatlakoztatása után elfordítjuk 90°-ban. Szuszpendálunk 10 l vízben 100-150 g száraz Perfil 250-et (örölt perlit). A 10 l szuszpenziót tartalmazó edényt felkeverjük, majd a 2 adagolónyíláson keresztül a 3 tartályba töltjük. Elindítjuk a keverést. Megnyitjuk a vákuumszivattyú csapját, majd elzárjuk a 9 szelepet. Megvárjuk, míg a rendszer eléri a mérésvezető által megadott vákuumot (0,25-0,6 bar nyomáskülönbség között).

Ha a vákuum megfelelő, az 5 csap nyitásával megindítjuk a szűrést. Ezzel egyidőben indítjuk a stoppert is. Mérjük a 0,5, 1, 1,5... stb. liter szűrletterfogathoz tartozó időket. A 8 tartály oldalán a szűrletmennyiség leolvasható. A mérés során a megadott nyomáskülönbség értéket a 9 csap időszakos kinyitásával tudjuk beállítani. A szűrést addig végezzük, amíg a 3 edényben lévő zagy el nem fogy. Ezután még 3 percig levegőt szívattunk át a rendszeren, hogy a kiszűrt perfil szárazabb, könnyebben kezelhető legyen a szűrőprés ürítésekor. Mérés végeztével leválasztjuk a 3 tartályt a présről a 6 szelep fölött. Ezután töltünk 2-3 liter vizet a 3

tartályba, kevertessük rövid ideig, majd engedjük le, így kitisztul a cső és a tartály is. Ezután lassan nyissuk ki a 9 csapot, és zárjuk el a vákuumszivattyú csapját.

A vákuum megszűnése után szétszereljük a szűrőprést, a szűrővásznakról összegyűjtjük a perfilt. A nedves szűrőleplenyt a mérőasztalra készített fémedénybe helyezük, és a mérés végeztével a fémedénnyel együtt a szárítószekrénybe helyezük. A szűrőprés alkatrészeit elmoszuk. A szűrletet leeresztjük a tárolóedénybe. Összeszereljük a szűrőprést. Megmérjük a szűrés befejezése (9 liter szűrlet vételezése) és a következő üzemképes állapot létrejötte között eltelt ún. holtidőt vagy állásidőt is!

A mérési jegyzőkönyv tartalmazza a mért adatokat: a nyomáskülönbséget, valamint a mért időket.

Mérési adatlap

Szűrőfelület (A):

(számítandó a felhasznált szűrővászon felületéből)

Nyomáskülönbség (Δp):

Állásidő (t_a):

Mérési táblázat (kb 20 sor szükséges):

V (mértékegység)	t (mértékegység)

Számítsák ki a két szűrési állandót (α és R_m).

Grafikus szerkesztéssel határozzák meg az optimális szűrési időt és az ehhez tartozó optimális szűrlet térfogatot! (Amennyiben a túl hosszú állásidő miatt nem tudnak érintőt húzni a V(t) görbéhez, végezzék el a szerkesztést és a számolást 10 min becsült állásidővel a mért hosszabb állásidő helyett!) Az optimális szűrési időt és az optimális szűrlettérfogatot határozzák meg számítással is a szűrési állandók felhasználásával.

$$V_{opt} = A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot t_a}{\eta \cdot \alpha \cdot c}}$$

$t_{opt} = t_a + R_m \cdot \frac{\eta}{\Delta p} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot t_a}{\eta \cdot \alpha \cdot c}}$, ahol az így számított t_{opt} nem tartalmazza az állásidőt, ezt még hozzá kell adni a kapott számértékhez, hogy az egy optimális szűrési sarzs idejét megkapjuk! Hasonlítsák össze a számolással és szerkesztéssel kapott értékeket!

A mérési leíratot a tanszéki munkaközösség korábbi munkáinak felhasználásával készítette: Székely Edit
Ellenőrizte: Mizsey Péter