

SZÜRÉSI GYAKORLAT KERETES SZÜRŐPRÉSSEL

A mérési gyakorlat célja egy szuszpenziók tisztítására szolgáló hidrodinamikai elválasztó művelet gyakorlati megismerése. A mérés célja, hogy a hallgató a gyakorlat elvégzése után **az alábbi tanulási eredményeket érje el.**

Minimum szint:

A hallgató

- képes egy félüzemi méretű, több egységből álló készüléken eligazodni, a sematikus rajz alapján a főbb egységeket azonosítani, felismeri az anyagáramok útját.
- ismeri a keretes szűrőprés felépítését és el tudja magyarázni annak működését.
- ismeri és el tudja magyarázni a vízsugárszivattyú működési elvét.
- azonosítani tudja a szűrési sebességet meghatározó tényezőket, értelmezni tudja a szűrés során fellépő ellenállásokat.
- helyesen értelmezi az összes időt (sarzsidőt), a szűrési időt (műveleti időt) és az állásidőt.
- helyesen értelmezi az optimális szűrési időt és az optimális szűrlettérfogatot.
- a mérés során a mérési adatokat jól dokumentáltan jegyzi fel és átlátható formában összestli.
- mérési adatait más szakember számára érthető formában, a megfelelő egyenletek kiválasztásával és a mértékegységek helyes használatával értékeli ki és átlátható kivitelű jegyzőkönyvet készít.
- a számítási eredményeit összeveti a tapasztalati értékekkel és jelentős eltérés esetén keresi a hiba okát.

Optimális szint (a minimum szint feletti):

A hallgató

- képes a cél ismeretében a szükséges mérési feladatok meghatározására.
- a mérési eredményeket az alkalmazott mérési módszerek bizonytalanságának figyelembe vételével, azoknak megfelelő pontossággal adja meg.
- átlátja a vizsgált hidrodinamikai művelet során az egyes mérhető értékeket befolyásoló folyamatokat és azok kapcsolatait.
- az eredményeket összefüggéseiben, a gyakorlati tapasztalatai figyelembe vételével értékeli.

A mérés során az alábbi alapismeretekre építünk, ezek szükségesek a mérési feladat elvégzéséhez, a mérés céljának és a számításoknak a megértéséhez, ezért számon is kérhetők.

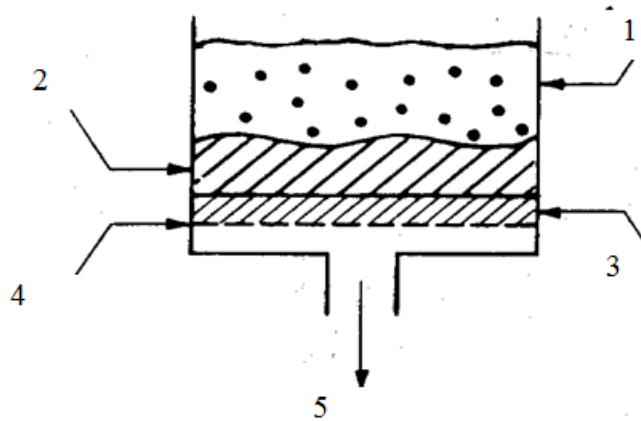
- Dead-end szűrés elve.
- A szűrés alapegyenlete és értelmezése.
- A szűrés során fellépő ellenállások értelmezése.
- A szűrési állandók meghatározásának menete.
- Az optimális szűrési idő és optimális szűrlettérfogat értelmezése és meghatározása grafikus módszerrel.

A mérési leíratban a felkészülést elősegítő *ellenőrző kérdések zölddel vannak szedve.*

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 (szűrőközegen) pórusos szemcsehalmaz rétegen vezetjük keresztül, amely a lebegő szilárd részecskéket visszatartja, a folyadékot pedig átengedi. A szűrés elvi vázlatja az 1. ábrán látható.



1. ábra: A szűrés elvi vázlatja

1-szuszpenzió, 2-iszapréteg (iszaplepeny), 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 nyomáskülönbséggel, 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 (műveleti idő) [s], Δp_ℓ az iszaprétegen kialakuló nyomásesés [N/m^2], B a szűrőréteg un. permeabilitási (áteresztési) együtthatója [m^2].

Az (1) kifejezés összhangban van a szemcsehalmazon keresztül történő lamináris áramlás elméletével, pontosabban a *Blake-Kozeny*-egyenlettel, [Fonyó-Fábray: Vegyipari Művelettani alapismeretek (3.61) egyenlet, 94 oldal.]. 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:

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

ill. Az “ $\alpha =$ 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 vezetékeinek 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 (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:

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

1.3. Szűrési állandók meghatározása

A (9) egyenlet az alábbi alakban is felírható:

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

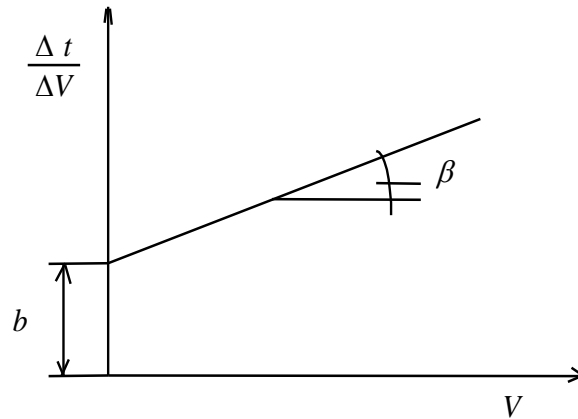
ahol: $a = \frac{\alpha c \eta}{A^2 \Delta p}$, az egyenes meredeksége

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 közepes szűrlettérfogat függvényében. A kapott pontokra illesztett egyenes a meredekségéből és b tengelymetszetéből a szűrési állandók (αc és R_m) számíthatók.



2. ábra: Szűrési konstansok meghatározása.

A $\Delta t/\Delta V$ értékét miért a közepes szűrlettérfogat függvényében ábrázoljuk? Mi a célja a szűrési állandók meghatározásának? Más módon is meghatározhatók a szűrési állandók? Ismertessen legálább egyet! Miért jobb az itt ismertetett módszer?

1.4. Optimális szűrési idő meghatározása

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

- 1) a szürendő oldat mennyisége (V_{δ} összes szűrlet térfogat),
- 2) az a tény, hogy a szűrő iszapréteg vastagsága 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 szűrlettérfogat, k állandó. Gyakran előfordul, hogy, az összes szűrlettérfogat lényegesen nagyobb, mint a (16) egyenlet jobb oldala.

$$V_{\delta} \gg \frac{(V_{\text{iszap}})_{\max}}{k} \quad (16)$$

Ilyenkor a feldolgozandó oldatot több részletben kell leszűrni. Az egy részletben feldolgozandó oldat mennyiségét azonban nem célszerű a szűrő iszapréteg vastagságának alapján a (15) egyenletből megállapítani, mert az iszaplepleny vastagodásával áramlási ellenállása is megnő, az (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, továbbiakban összes idő (t_{δ}) két részre bontható:

- a.) egy ún. *állásidőre* ($t_{\dot{a}}$), amely magába foglalja a mosást, a szűrőlepleny eltávolítását, a vászon mosását és keretes szűrőpréceknél a berendezés össze- és szétszerelésének idejét, és
- b.) a *szűrési időre* (t) (másképpen fogalmazva: ameddig működik a berendezés)

$$t_{\delta} = t_{\dot{a}} + t \quad (17)$$

Ha V_{δ} lényegesen nagyobb, mint $(V_{\text{iszap}})_{\max}/k$, az optimális szűrési idő meghatározásánál voltaképpen az időegység alatt leszűrt szűrlettérfogat (szűrési teljesítmény) maximumát keressük, vagyis a következő kifejezés maximumát:

$$\frac{V}{t_{\delta}} = \frac{V}{t_{\dot{a}} + t} \quad (18)$$

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

$$V = f(t_{\ddot{o}}) \quad (19)$$

A (18) egyenletnek ott van szélsőértéke, ahol:

$$\frac{d\left(\frac{V}{t_{\ddot{o}}}\right)}{dt_{\ddot{o}}} = \frac{d\left(\frac{f(t_{\ddot{o}})}{t_{\ddot{o}}}\right)}{dt_{\ddot{o}}} = 0 \quad (20)$$

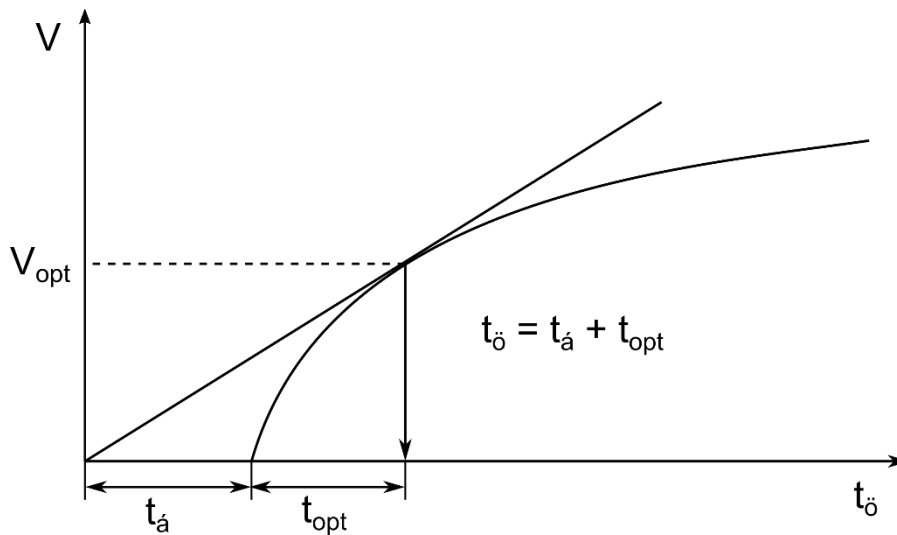
Tört differenciálhányadosa:

$$\frac{d\left(\frac{f(t_{\ddot{o}})}{t_{\ddot{o}}}\right)}{dt_{\ddot{o}}} = \frac{t_{\ddot{o}}f'(t_{\ddot{o}}) - f(t_{\ddot{o}})}{t_{\ddot{o}}^2} = 0 \quad (21)$$

Ebből:

$$f'(t_{\ddot{o}}) = \frac{f(t_{\ddot{o}})}{t_{\ddot{o}}}. \quad (22)$$

Vagyis, az optimum helyén a differenciálhányados megegyezik a $V/(t_{\ddot{o}})$ hányadossal.



3. ábra: Optimális szűrési idő grafikus meghatározása.

A fenti egyenletet legegyszerűbben grafikusán oldjuk meg. Ábrázoljuk a leszűrt térfogatot az összes idő ($t_{\ddot{o}}$) függvényében (3 ábra). Az origóból meghúzzuk a görbéhez rajzolható érintőt, mely az optimális szűrési időnek megfelelő maximális irántangenszt jelenti és megfelel a maximális $(V/t_{\ddot{o}})$ -szűrési teljesítménynek.

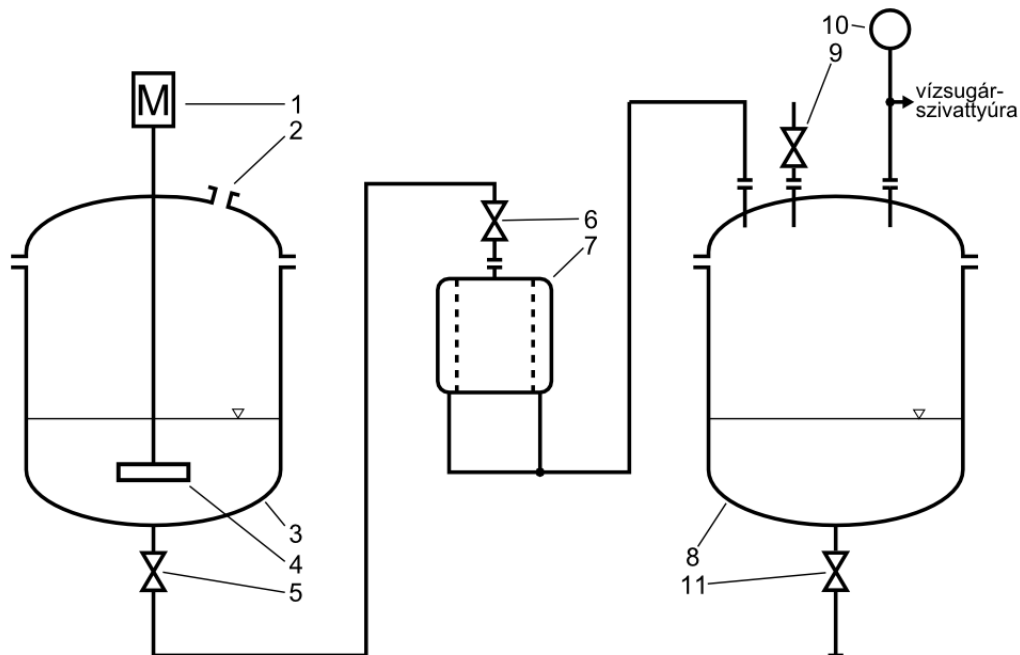
A fenti módszer általánosan alkalmazható minden szakaszos művelet optimumának meghatározására, amennyiben a termék árát nagymértékben az előállítási idő határozza meg.

2. A SZŰRÉSI GYAKORLAT LEÍRÁSA

A mérés célja: Örölt perlitet tartalmazó szuszpenzió tisztítása keretes szűrőpréssel. A szűrési állandók meghatározása. Az optimális szűrési idő és optimális szűrlettérfogat meghatározása grafikus módszerrel. A grafikus módszerrel meghatározott értékek összevetése a számított optimális szűrési idővel és szűrlettérfogattal.

Milyen mérési adatokra van szüksége a fenti adatok meghatározásához.

A laboratóriumi méréshez használt szűrőprés folyamatábrája látható a 4. ábrán.



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 mérésvezető megérkezése előtt azonosítsák a berendezés részegységeit a folyamatábra segítségével, kövessék végig az anyagáramok útját.

A mérés megkezdése előtt győződjenek meg róla, hogy az 5, 11 csapok zárt, a 6, 9 csapok pedig nyitott állásban vannak (4. ábra). A mérés megkezdésekor a keretes szűrőprést összeszerelt, mérésre kész állapotban találják. A vezetékek csatlakoztatása után fordítsák el a szűrőprést 90°-ban, a 4. ábrán látható pozícióba.

Az összeszerelt szűrőprés helyzetének helyszíni szemrevételezését követően adjanak magyarázatot arra, hogy miért kell 90°-ban elfordítani a szűrőprést?

Szuszpendáljanak 10 l vízben 100-150 g száraz Perfil 250-et (örölt perlit). A 10 l szuszpenziót tartalmazó edényt keverjék fel, majd a 2 adagolónyíláson keresztül töltsék be a 3 jelű tartályba. Indítsák el a keverést. Nyissák meg a vákuumszivattyú csapját, majd zárják el a 9 szelepet. Várják meg, míg a rendszer eléri a mérésvezető által megadott vákuumot (0,25-0,6 bar nyomáskülönbség között). Ha a vákuum megfelelő, az 5 csap nyitásával indítsák meg a szűrést.

Milyen egyéb módot ismer a nyomáskülönbség biztosítására?

Ezzel egyidőben indítsák a stoppert is. Mérjék 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 tudják beállítani. A szűrést addig végezzék, amíg a 3 edényben lévő zagy el nem fogy. Ezután még 3 percig szívassanak át levegőt a rendszeren, hogy a kiszűrt perfil szárazabb, könnyebben kezelhető legyen a szűrőprés üritésekor. A mérés végeztével válasszák le a 3 tartályt a présről a 6 szelep fölött. Ezután töltsenek 2-3 liter vizet a 3 tartályba, kevertessék rövid ideig, majd engedjék le, így kitisztul a cső és a tartály is. Ezután lassan nyissák ki a 9 csapot, és zárják el a vákuumszivattyú csapját. A vákuum megszűnése után szereljék szét a szűrőprését, a szűrővásznáról kaparják le a perfilet. A nedves szűrőlepenyt a mérőasztalra készített fémedénybe gyűjtsék, és a mérés végeztével a fémedénnyel együtt helyezték a szárítószekrénybe. A szűrőprés alkatrészeit mossák el. Mérjék le a szűrőváson átmérőjét, majd szereljék össze a szűrőprését. A szűrőprés összeszerelésekor legyenek különös tekintettel az elemek megfelelő sorrendjére! A szűrletet eresszék le a tárolóedénybe. Mérjék meg a szűrés befejezése (9 liter szűrlet vételezése) és a következő üzemképes állapot létrejötte között eltel állásidőt is! Mérési adataikat az alábbi mérési adatlap minta szerint jegyezzék fel.

Mérési adatlap minta

Szűrőfelület (A): (számítandó a felhasznált szűrőváson átmérője alapján)

Hogyan számítja ki a szűrőfelület nagyságát?

Nyomáskülönbség (Δp):

Állásidő (t_a):

Mérési táblázat (kb. 20 sor szükséges):

V (mértékegység)	t (mértékegység)

3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

1. Számítsák ki a két szűrési állandót (αc és R_m). A számítás során ügyeljenek a mértékegység egyeztetésre. A szűrési állandók számításakor táblázatosan foglalják össze az összetartozó $\Delta t/\Delta V$ - $V_{\text{közepes}}$ értékpárokat. $\Delta t/\Delta V$ értékét ábrázolják a $V_{\text{közepes}}$ függvényében. A diagramon tüntessék fel a mérési pontokra illesztett egyenes egyenletét is.
2. 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 $V(t_a)$ görbéhez, végezzék el a szerkesztést és a számolást 10 min becsült állásidővel a mért hosszabb állásidő helyett!)
3. Az optimális szűrési időt és az optimális szűrletterfogatot határozzák meg számítással is a szűrési állandók felhasználásával.

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

$$t_{\text{opt}} = t_a + R_m \cdot \frac{\eta}{\Delta p} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p \cdot t_a}{\eta \cdot \alpha \cdot c}}, \text{ ahol az így számított } t_{\text{opt}} \text{ az optimális szűrési idő, értékéhez hozzá}$$

kell adni az állásidőt ha V_{opt} előállításához tartozó sarzsidőt akarjuk kiszámolni. Hasonlítsák össze a számolással és szerkesztéssel kapott értékeket!

Milyen okai lehetnek a számolással és a grafikus úton kapott értékek közötti eltérésnek?

Az elkészített diagramokat minden esetben lássák el tengelyfelirattal és mértékegységgel!

A beadandó jegyzőkönyv tartalma

A jegyzőkönyvben mérési leírást, készülékábrát csak abban az esetben tüntessenek fel, ha valamilyen okból eltértek a mérésleirattól. Ellenkező esetben elegendő egy mondat, mely szerint a mérést a mérési leirat szerinti berendezésen és módon végezték.

1. Mérési adatlap (a mérésvezető által aláírva).
2. Részletes számolás, amelyben az eredmények ki vannak emelve.
3. A mérési eredmények rövid, szöveges értékelése.

A mérési leíratot a tanszéki munkaközösség korábbi munkáinak felhasználásával készítette: Kmecz Ildikó

Ellenőrizte: Deák András
Valentínyi Nóra

Budapest, 2017. augusztus