

# Szuszpenziók tisztítása centrifugálással

## Vegyipari műveletek laborgyakorlat

### 1. Elméleti bevezető

A centrifugálás művelete a centrifugális erőter használásán alapuló hidrodinamikai szeparációs művelet. A centrifugális erőterben a centripetális erőnek köszönhetően a szétválasztás több százszor, vagy több ezerszer gyorsabb, mint a gravitációs erőterben.

Centrifugális erőteret tengely körül forgó rendszerrel tudunk előállítani. Függőleges tengely körüli forgás esetén a körhenger alakú edény a tengely körül állandó  $\omega$  szögsebességgel ( $n$  fordulatszámmal) forog. Ha az edénybe töltött összenyomhatatlan folyadék együttforgását biztosítjuk (megfelelő betétekkel), akkor a folyadék relatíve nyugalomban van. A folyadék felszíne forgási paraboloidon helyezkedik el. Ez a felszín nívófelület éppen úgy, mint ahogy az álló térben, a nehézségi erőterben nyugalomban lévő víz vízszintes felülete is nívófelület. A forgó edénnyel olyan erőteret állítunk elő, amelyben a  $dm$  tömegű részecskére a térerő nehézségi erő (súly, azaz  $g \cdot dm$ ) és a centrifugális erő ( $r \cdot \omega^2 \cdot dm$ ) eredője hat [1].



1. ábra A  $dm$  tömegű ülepedő részecskére ható erők [Az ábrát Prof. Dr. Vatai Gyula engedélyével használtuk fel 2]

## 1.1 Szögsebesség és fordulatszám

Ha szilárd anyagot tartalmazó folyadékot gyorsan forgatunk, a szemcsék az edény falán feldúsulnak. Ebben az esetben a gravitációs gyorsulás ( $g$ ) szerepét a centrifugális gyorsulás ( $a_c$ ) veszi át, amelyet  $\omega$  szögsebesség és a forgástengelytől való távolság ( $r$ ) ismeretében számíthatunk az (1) egyenlet segítségével:

$$a_c = r \cdot \omega^2 \quad (1)$$

Ha  $m$  tömegű test tengelye körül  $\omega$  szögsebességgel forog  $r$  sugarú körön, akkor a centrifugális erő az alábbi egyenlet alapján írható fel.

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

A szögsebesség helyett a kerületi sebességet bevezetve:

$$F_c = m \cdot v^2 / r \quad (3)$$

ahol

$r$  a kör sugara [m]

$v = r \cdot \omega$  a kerületi sebesség [m/s]

$\omega = 2\pi \cdot n$  szögsebesség [rad/s]

$n$  a fordulatszám [1/s]

A fordulatszámot kifejezhetjük a Revolutions per Minute (továbbiakban RPM) vagyis az egy perc alatt megtett fordulatok számával is. Ez esetben a szögsebesség a (4) egyenlet alapján számolható:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot \text{RPM} . \quad (4)$$

A centrifugák jellemzésére az ún. jelzőszámot használják, amely a centrifugális és a  $g$  nehézségi gyorsulás viszonya.

$$j = \frac{r \cdot \omega^2}{g} = \frac{v^2}{r \cdot g} \quad (5)$$

A normál fordulatszámú centrifugáknál  $j=200-400$ , a nagy fordulatszámúaknál  $j=4\ 000-50\ 000$ . A laboratóriumi centrifugákban történő szétválasztás jellemzésére a teljesítmény indexet szokták használni, angol nevén Performance Index (PI). A teljesítmény index számítása (6) egyenlet szerint történik:

$$PI = \frac{\omega^2}{\ln r_k - \ln r_m} \quad (6)$$

ahol  $\omega$  a szögsebesség [rad/s]

$r_k$  a vizsgálandó anyagot tartalmazó pohár legtávolabbi pontjának távolsága a forgástengelytől [m]

$r_m$  a folyadék felszínének (meniszkusz) távolsága a forgástengelytől működés közben [m].

A (6) képlet alapján belátható, hogy a teljesítmény index nagy mértékben függ attól, hogy mekkora a folyadékszint a centrifuga csövekben. A teljesítmény indexet a centrifugálási idővel szorozva az effektív centrifugálási teljesítményre jellemző számot kapunk. Ez annyit jelent, hogy nagyobb fordulatszám, tehát nagyobb teljesítmény index esetén rövidebb centrifugálási idő is elegendő ugyanazon hatás elérésére. Az ilyen átszámítást a valóságban azonban csak korlátozott mértékben szabad alkalmazni, ugyanis a makromolekula nagyságú részecskék csak meghatározott nagyságú erőterben ülepednek. Így kisebb fordulatszám esetén a centrifugálási idő meghosszabbításával nem lehet pótolni a szükséges nagyságú erőteret.

## 1.2 Centrifugálási idő [3]

Centrifugális ülepedés esetén az ülepedési sebesség ( $u$ ) változik a részecskék tengelytől való távolságával, vagyis:

$$u = \frac{dr}{dt} \quad (7)$$

ahol  $r$  [m] a részecske aktuális helyzete a forgástengelytől mérve,  $t$  [s] pedig az a centrifugálási idő. Az egyenlet integrálásához azonban ismernünk kell, hogy ülepedés hol, milyen  $r$  értékeknél, továbbá, milyen tartományon belül történik. Amennyiben a centrifuga csövet maximálisan megtöltjük, és homogén oldatot tételezünk fel, akkor a maximális ülepedési úthossz a folyadék felszíne ( $r_m$ ) és a centrifuga cső alja ( $r_k$ ) közti távolság lesz.

$$t = \int_{r_m}^{r_k} \frac{dr}{u} \quad (8)$$

Az ülepedési sebesség közegellenállási tényezőtől való függése csak a Stokes tartományban ismeretes ( $f = 24 / Re$ ), ahol az integrálás elvégezhető. Átmeneti és Newton tartományban  $u$ -től való függése csak grafikusán áll rendelkezésre, ezért itt az integrálást csak grafikusán lehet elvégezni. Éppen ezért először meg határozni, hogy melyik tartományban történik az ülepedés, majd az integrálás elvégzésével az ülepedési idő meghatározható. Fontos megjegyezni, hogy a (9) egyenlet azzal a feltételezéssel él, hogy erőegyensúly van, vagyis az ülepedő részecske súlyereje és a centripetális erő eredője, továbbá a felhajtóerő és a közegellenállási erő eredője között. Ez ez túlzott feltételezés, azonban ennek hiányában a centrifugálási időt nem tudjuk számítani.

$$f \cdot \text{Re}^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{d^3 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \rho_f}{\eta_f} \cdot r \cdot \omega^2 \quad (9)$$

ahol  $d$  a gömb alakúnak feltételezett ülepedő részecske sugara [m]

$\rho_p$  az ülepedő részecske sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\rho_f$  a közeg sűrűsége [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\eta_f$  a közeg dinamikai viszkozitása [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]

$r$  a tengelytől való maximális távolság [m]

$\omega$  a szögsebesség [rad/s]

Ha  $f \cdot \text{Re}^2 < 1,5$ , akkor Stokes tartományban vagyunk, és az ülepedési sebesség a (10) egyenlet segítségével számolható.

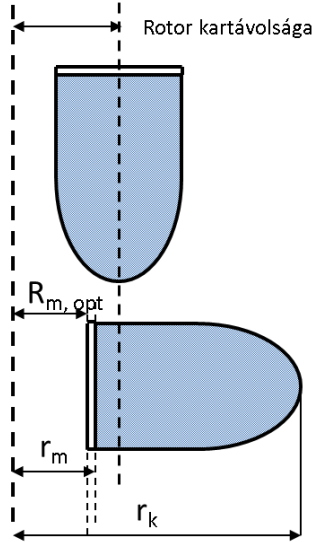
$$u = \frac{d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f)}{18 \cdot \eta_f} \cdot r \cdot \omega^2 \quad (10)$$

A (10) egyenletet a (8) egyenletbe helyettesítve, és a határok megadásával az egyenlet integrálható.

$$t = \int_{r_m}^{r_k} \frac{dr}{u} = \int_{r_m}^{r_k} \frac{18 \cdot \eta_f \cdot dr}{d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \omega^2 \cdot r} = \frac{18 \cdot \eta_f}{d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \omega^2} \cdot \int_{r_m}^{r_k} \frac{dr}{r} \quad (11)$$

$$t = \frac{18 \cdot \eta_f}{d^2 \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot \omega^2} \cdot \ln \frac{r_k}{r_m} \quad (12)$$

Forgástengely



Rotorba illesztett serleg  
maximálisan töltve  
nyugvó helyzetben

Rotorba illesztett serleg  
maximálisan töltve  
Állandó fordulatszám mellett

Jelmagyarázat:

$r_k$  a vizsgálandó anyagot tartalmazó pohár legtávolabbi pontjának távolsága a forgástengelytől [m]

$r_m$  a folyadék felszínének (meniszkusz) távolsága a forgástengelytől működés közben [m]

$r_{m, opt}$  a serleg a forgástengelytől mért távolsága működés közben [m]

2. ábra Lengőfejes centrifuga esetén  $r$  változása

### 1.3 A centrifuga hatásfoka

A centrifuga hatásfokát Bass [4] szerint a centrifugában kapott valódi és elméletileg kinyerhető iszapmennyiség hányadosaként definiáljuk.

$$\eta_c = \frac{Z_v}{Z_e} \quad (13)$$

ahol  $Z_v$  a ténylegesen kiülepedett iszapmennyiség [g]

$Z_e$  az elméletileg kiülepíthető iszap mennyisége [g].

### 1.4 Centrifugák csoportosítása [5]:

- Szakaszos üzemű
  - Merev tengelyű centrifugák
  - Ütköző centrifugák
  - Inga centrifugák
  - Függő centrifugák
  - Hámozó centrifugák
- Folytonos üzemű
  - Folytonos üzemű szűrő centrifugák

- Szuper centrifuga
- Kamrás centrifuga
- Tányéros centrifuga (szeparátor)
- Önürítő centrifuga
- Fúvókás szeparátor
- Derítő és emulzióbontó centrifugák
- Különleges centrifugák
- Laboratóriumi centrifugák
  - Lengőfejes rotorral felszerelt (kilendülőcsöves) centrifuga
  - Ferdecsöves- vagy más néven szögcentrifuga

A továbbiakban a Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék DCs félüzemi laboratóriumában található centrifugákat tárgyaljuk. Az egyes centrifugák működésével, és tervezési szempontjaival kapcsolatos bővebb információkat a Fejes Gábor által írt Centrifugálás [5] c. könyvben olvashatnak.

### Ferdecsöves centrifuga



3. ábra Hat merevszögű mélyedést tartalmazó rotor oldalnézeti rajza

A ferdecsöves centrifuga rotorjában a forgó részbe adott szögben fűrt lyukakba helyezik a poharakat vagy csöveket, amelyek helyzete állandó. A függőleges tengellyel 15-45 fokos szöget zárnak be. Ezeket a forgórészeket már nagyobb fordulatszámon is lehet használni. Az üvegcsövek alá rugalmas betétet, többnyire **gumikorongot** helyeznek a törés elkerülése érdekében.

Szög centrifugák esetén az ülepedési úthossz lerövidül. Ezzel egy időben kisebb a valószínűsége annak, hogy a centrifuga leállításakor a kiülepedett anyag visszakeveredik. Az ülepedő részecskék a centrifuga cső falára ülepednek ki.

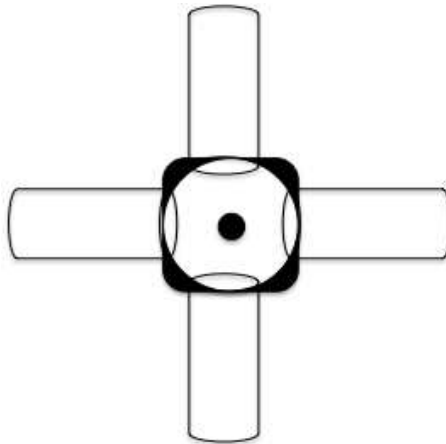
## 1.5 Centrifugák alkalmazása

Centrifugák széleskörű alkalmazása elsősorban az élelmiszeriparra jellemző. Példaként említhető a borkő (káliumhidrotartarát) víztelenítése, cukorkristályok elválasztása az anyalúgtól, tej elválasztása a zsírtól, továbbá keményítő tisztítása. Vegyipari alkalmazás tekintetében

ásványolajiparban a korróziós tulajdonságok csökkentésére használt kénsavas finomításból eredő használt sav eltávolítására szeparátor centrifugát használnak. Olajtisztító eljárásoknál is elsősorban önürítő szeparátorokat, míg a szennyvíztisztításban ülepitő centrifugákat használnak. Legelterjedtebb alkalmazási területe a háztartási mosógépekbe épített centrifuga, amelyet a ruhák víztelenítésére használunk.

## 1.6 Mérőberendezés ismertetése

Lengőfejes rotorral felszerelt vagy más néven kilendülőcsöves centrifuga



4. ábra Négy serleggel felszerelt lengőfejes rotor működés közben, felülnézeti rajz

A kilendülőcsöves centrifugáknál a függőleges tengely körül páros számú serleg van felszerelve. Ezekbe helyezik a vizsgálandó anyaggal megtöltött centrifuga poharakat, amelyek készülhetnek műanyagból, üvegből vagy fémből. Űrtartalmuk néhány ml-től az 1 literig terjed. A pohártartó serlegeket a rotorra elforgatható módon erősítik, hogy azok üzem közben a centrifugális erő hatására kilendülhessenek, és a forgástengelyre merőlegesen helyezkedhessenek el. A régebbi típusú centrifugák tipikusan 1000-3000 1/min fordulatszámmal működtek, ma többnyire 5000 1/min fordulatszámig működnek.

A laborgyakorlat során Janetzki S 70 típusú készülékkel fognak dolgozni. A berendezés 220 V feszültséggel működik. A centrifuga fedele csak kikapcsolt állapotban nyitható, vagyis a betöltést és ürítést is kikapcsolt állapotban kell végezni.

A készülék rotorja 4 serleggel működik, amelyekbe egyenként maximum 1 liter folyadék tölthető. Jelen gyakorlat során a serlegekbe csak előzetesen centrifuga poharakba, vagy centrifuga csövekbe töltött mintát szabad helyezni. **A centrifugát mindig csak kiegyensúlyozott állapotban szabad üzemeltetni**, ezért az egyes mintával, vagy csapvízzel töltött **centrifuga poharak bruttó tömege közötti megengedett tömegkülönbség 1 g lehet.**

**A mérőberendezés üzemeltetéséhez készített útmutató a berendezés mellett található.**

Adatok:  $r_k=35$  cm,  $r_m=r_k-h$ , ahol  $h$  a centrifuga pohárral együtt mért folyadék magassága.

## 2. Mérés leírása

### A gyakorlat célkitűzése

Krétaapor tartalmú szuszpenzió üleptése lengőfejes centrifugával, a fordulatszám változtatásának hatása a felülúszó lebegőanyag tartalmára. Számolt centrifugálási idő összevetése a gyakorlat során alkalmazott centrifugálási idővel. Teljesítményindex számítása.

### Gyakorlati feladat

Mérjen ki 2-2 centrifuga pohárba közel 100 ml 0,1 m%, illetve 0,5 m% krétaapor tartalmú szuszpenziót. A minták tömegmérését táramérlegesen kell elvégezni. **A centrifugát mindig csak kiegyensúlyozott állapotban szabad üzemeltetni**, ezért az egyes mintával töltött **centrifuga poharak bruttó tömege közötti megengedett tömegkülönbség 1 g lehet**. A centrifuga poharak megfelelő számú serlegbe történt behelyezése után indítsa el a centrifugát, és üzemeltesse 5 percig 2000 1/min-es RPM értéken. 5 perc után állítsa vissza a fordulatszámot nullára, kapcsolja ki a centrifugát, és fékezéssel állítsa meg a rotort. Mérje a felfutási időt és a leállításhoz szükséges időt. Miután a rotor leállt a berendezés teteje nyitható. Mérjék meg a felülúszó és a maradék tömegét! Határozzák meg a maradék szárazanyagtartalmát! (Száritószekrényben 105 C-on 20 percig történő szárítás elegendő).

Ismételjék meg a mérést 1000 1/min fordulatszámon!

1. táblázat Krétaapor fizikai adatai

Krétaapor átlagos szemcseátmérő	1 $\mu\text{m}$
Krétaapor sűrűsége	1121 $\text{kg}/\text{dm}^3$
Krétaapor tartalmú víz sűrűsége	1010 $\text{kg}/\text{dm}^3$

Krétaaporos víz dinamikai viszkozitása helyett a 20°C-on mért víz dinamikai viszkozitásával (1 mPa·s) számolhatnak!



### Beadandó:

- A kísérlet során készített táblázatok (az egyes tömegek, összeételek  $h$  és  $r_m$  értékei)
- A centrifuga jelzőszáma a két különböző fordulatszámon (5) egyenlet segítségével  $r=r_k=0,35$  m alkalmazható.
- Számolt centrifugálási idő a két különböző fordulatszámon, összehasonlítva a mért értékkel.
- A felülúszó, a maradék a bemért tömeghez viszonyított %-os aránya a két különböző fordulatszámon
- Teljesítményindex számítása a (6) egyenlet szerint
- A számolt centrifuga határfok értékek a különböző fordulatszámokon
- Értékelés

A gyakorlatleírást készítette:

Dr. Cséfalvay Edit

Ellenőrizte:

Prof. Dr. Mizsey Péter

Budapest, 2014. Július

### Irodalomjegyzék

<sup>1</sup> Fonyó Zsolt, Fábry György, Vegyipari Művelettani Alapismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998

<sup>2</sup> Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék tanszéki munkaközösség, Vegyipari Műveletek I. 3. Ülepítés, elektronikus jegyzet, 2011. [http://www.emuv.kee.hu/targy.php?t=vegyipari\\_muveletek\\_1](http://www.emuv.kee.hu/targy.php?t=vegyipari_muveletek_1), letöltés 2014. Február 4.

<sup>3</sup> Manczinger József, Vegyipari műveleti számítások I., Hidrodinamika, hőtan, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000, p. 72-73

<sup>4</sup> Bass Emil, Vegyipari gépek és műveletek, kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1963

<sup>5</sup> Fejes Gábor, Centrifugálás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967

# Üzemeltetési útmutató

## Janetzki S70 lengőfejes rotorral felszerelt (kilendülőcsöves) centrifugához

A berendezés 220 V feszültséggel működik. A centrifuga fedele csak kikapcsolt állapotban nyitható, vagyis a betöltést és ürítést is kikapcsolt állapotban kell végezni.

A készülék rotorja 4 serleggel működik. A serlegekbe csak előzetesen centrifuga poharakba, vagy centrifuga csövekbe töltött mintát szabad helyezni. **A centrifugát mindig csak kiegyensúlyozott állapotban szabad üzemeltetni**, ezért az egyes mintával, illetve csapvízzel töltött centrifuga poharak bruttó tömege közötti megengedett tömegkülönbség 1 g lehet.

### Bekapcsolás

Ellenőrizzük, hogy a készülék feszültség alatt van-e. Segítségként a készülék fényképe az 1. ábrán, illetve a kezelőpanel kinagyított képe a 2. ábrán látható.

A centrifuga fedelének zárása után ellenőrizzük, hogy az időt állító tekerő (a 2. ábrán (1)-sel jelölve) 0 állásban van, az időkapcsoló (4), és a fék (5) is kikapcsolt állásban van, vagyis a gombok nem világítanak. A készüléket a bekapcsoló gomb (3) segítségével üzembe helyezzük. Ezek után a készülék üzemeltető panelének jobb oldalán lévő fordulatszám állító tekerő (6) segítségével beállítjuk a kívánt fordulatszám értéket. A készülék adott felfutási idő után beáll a kívánt fordulatszám értékre, amelyet a (2) számmal jelölt fordulatszám kijelzőn olvashatunk le.

Mivel a centrifugálást viszonylag rövid ideig végezzük, ezért eltekintünk az időkapcsoló és az időt állító tekerő használatától. Stopper segítségével a felfutási és a leálláshoz szükséges idő is mérhető.

### Üzemeltetés

A centrifuga serlegeibe elsősorban műanyag centrifuga poharakat és centrifuga csöveket helyezünk! A centrifuga üveg csövekkel is működtethető, ez esetben azonban figyeljünk a megfelelő méretű gumikorong, mint ütközés csillapító használatára. **A centrifuga serlegeibe a mintatartó csövek, ill. poharak kizárólag a megfelelő műanyag tartóval együtt helyezhetők be. A centrifugát mindig (a tengelyre középpontosan) szimmetrikusan kell terhelni**, szükség esetén tiszta vizet tartalmazó poharakat, ill. csöveket felhasználva az ellensúlyozásra.

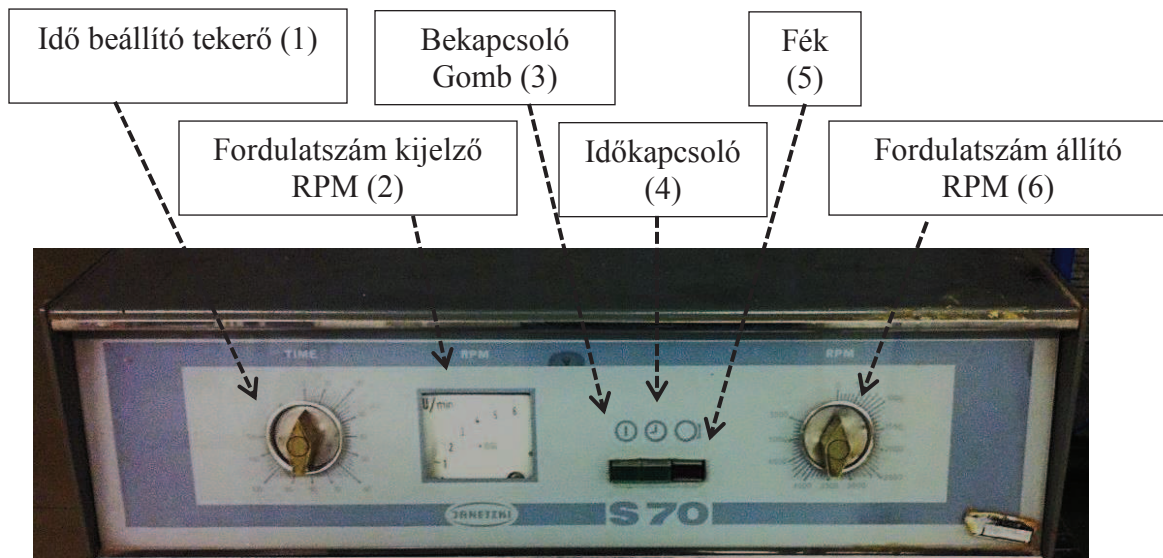
### Kikapcsolás

A centrifuga kikapcsolásának lépései:

1. a fordulatszám (RPM) gomb (6) nulla állásba való tekerésével
2. a bekapcsoló gomb (3) ismételt megnyomásával végezzük.
3. A fékező gomb (5) megnyomása (pirosan világít)
4. Miután az aktuális fordulatszámot mutató kijelző (2) nullát mutat és meggyőződünk arról, hogy a rotor leállt, kinyitjuk a centrifuga fedelét.



1. ábra Janetzki S70 típusú lengőfejes rotorral felszerelt centrifuga fényképe



2. ábra Janetzki S70 centrifuga kezelőpanele

Budapest, 2014. február