

## SZUSZPENZIÓK TISZTÍTÁSA CENTRIFUGÁLÁSSAL

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 az alkalmazott berendezés leirat szerinti szakszerű és biztonságos üzemeltetésére.
- el tudja magyarázni az alkalmazott berendezés működési elvét.
- rálátással rendelkezik a centrifuga hatásfokát meghatározó fontosabb paraméterekre.
- a mérés során a mérési adatokat jól dokumentáltan jegyzi fel és átlátható formában összesíti.
- 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.
- az eredményeket összefüggéseiben, a gyakorlati tapasztalatai figyelembe vételével értékeli.

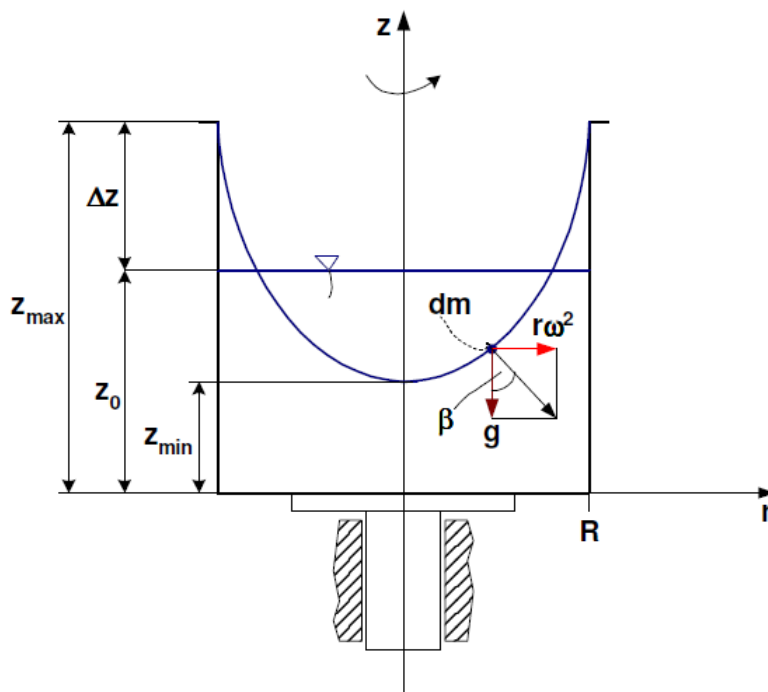
***A mérés során az alábbi alapismeretekre építünk***, ezek szükségesek a mérési feladat elvégzéséhez, a mérés céljának és a számításoknak a megértéséhez, ezért számon is kérhetők.

- A centrifugálás műveletének értelmezése.
- A centrifuga jelzőszámának értelmezése.
- A centrifuga jelzőszámának értelmezése.
- A centrifuga hatásfokának számítása.
- Szárazanyagtartalom meghatározása.

## 1. ELMÉLETI BEVEZETŐ

A centrifugálás művelete a centrifugális erőter kihasználásán alapuló hidrodinamikai elválasztó művelet. A centrifugális erőterben a centrifugális 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 térerő a  $dm$  tömegű részecskére ható nehézségi erő (súly, azaz  $g \cdot dm$ ) és centrifugális erő ( $r \cdot \omega^2 \cdot dm$ ) eredője (1. ábra) [1]. A két erő eredője a nívófelület minden pontjában merőleges a nívófelületet adott pontban érintő síkra.



1. ábra: A  $dm$  tömegű ülepedő részecskére ható erők<sup>1</sup>

### 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 az  $\omega$  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 ( $F_c$ ) az alábbi egyenlet alapján írható fel.

<sup>1</sup> Forrás: Szent István Egyetem, Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék tanszéki munkaközössége: Vegyipari Műveletek I.3 Ülepítés, elektronikus előadás segédanyag, 2014.  
[http://www.emuv.kee.hu/targy.php?t=vegyipari\\_muveletek\\_1](http://www.emuv.kee.hu/targy.php?t=vegyipari_muveletek_1), letöltés dátuma: 2017. augusztus

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

A szögsebesség helyett a kerületi sebességet is bevezetve az alábbi összefüggéshez jutunk:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (3)$$

ahol

$r$  a kör sugara [m],

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

$\omega = 2\pi \cdot n$  szögsebesség [1/s],

$n$  a fordulatszám [1/s].

A fordulatszámot megadhatjuk 1/min mértékegységben is (Revolutions Per Minute, továbbiakban RPM). Ez esetben a szögsebesség a (4) egyenlet alapján számítható.

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

A centrifugák jellemzésére az úgynevezett jelzőszámot ( $j$ ) 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 fordulatszámú centrifugáknál  $j = 4000 - 5000$ . A laboratóriumi centrifugákban történő szétválasztás jellemzésére a teljesítmény indexet szokták használni, angol néven Performance Index (PI). A teljesítmény index számítása a (6) egyenlet szerint történik:

$$PI = \frac{\omega^2}{\ln r_{\max} - \ln r_{\min}} \quad (6)$$

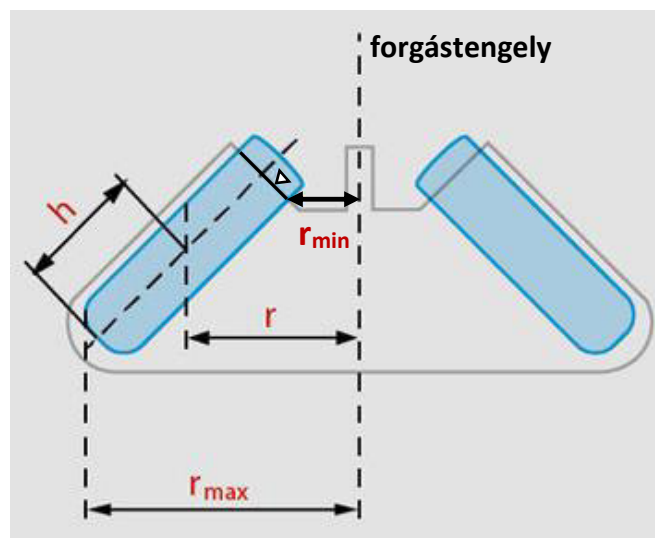
ahol

$\omega$  a szögsebesség [1/s],

$r_{\max}$  a vizsgálandó anyagot tartalmazó henger legtávolabbi pontjának távolsága a forgástengelytől [m],

$r_{\min}$  a folyadék felszínének (meniszkusz) távolsága a forgástengelytől működés közben [m].

Példaként a ferdecsöves centrifuga esetén az  $r_{\max}$  és  $r_{\min}$  fogalmát a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Ferdecsöves centrifuga esetén  $r$  változása

A (6) képlet alapján belátható, hogy a teljesítmény index nagymértékben függ attól, hogy mekkora a folyadékszint a centrifuga csövekben. A teljesítmény indexet a centrifugálási idővel megszorozva 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, mivel 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 [2]

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 a centrifugálási idő.

Az egyenlet integrálásához azonban ismerni 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 ( $r_k$ ) közötti távolság lesz (2. ábra).

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

Nehézségi erőterben, állandósult állapotban végzett kísérletekből ismert az  $f - Re$  összefüggés. Stokes tartományban  $f = 24/Re$ , átmeneti tartományban csak grafikusán áll rendelkezésre az  $f - Re$  összefüggés, Newton tartományban  $f = 0,44$  (eltekintve a Rittinger jelenségtől). Bár a centrifugálásnál a részecske mozgása gyorsuló, közelítő számításokhoz Stokes tartományban feltételezni szokás az erőegyensúlyt, és az ülepedési sebességet a (9) egyenlet és az  $f = 24/Re$  felhasználásával levezethető (10) egyenlettel számíthatjuk az  $r$  sugár függvényeként.

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

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 [Pas]

$r$  a tengelytől való maximális távolság [m]

$\omega$  a szögsebesség [rad/s]

Ha  $f \cdot Re^2 < 1,5$ , akkor Stokes tartományban vagyunk 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 visszahelyettesítve a határozott integrál:

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

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

### 1.3. A centrifuga hatásfoka

A centrifuga hatásfokát Bass [3] 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 kiülepedhető iszap mennyisége [g]

### 1.4. A centrifugák csoportosítása

A gyakorlatban alkalmazott centrifugák működésük, szerkezeti kialakításuk szerint az alábbi főbb csoportokba sorolhatók:

- szakaszos üzemű centrifugák,
- folytonos üzemű centrifugák,
- derítő és emulzió bontó centrifugák.

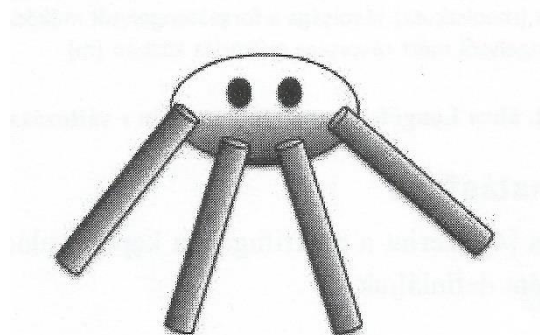
Az egyes centrifugák működésével és tervezési szempontjaival kapcsolatos bővebb információk megtalálhatók a szakirodalomban [1, 4].

Az alábbiakban a tanszék félüzemi laboratóriumában alkalmazott centrifuga típusokat ismertetjük röviden.

*Ferdecsöves- vagy más néven szögcentrifuga*

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

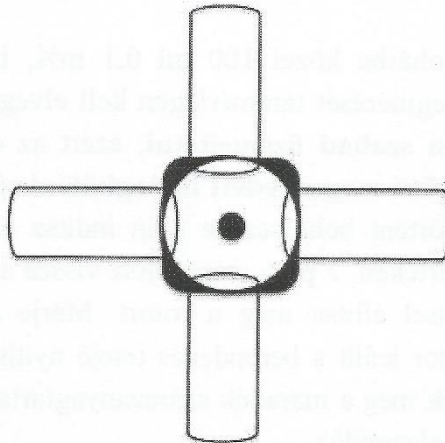
Szög centrifugák esetén az ülepedési úthossz lerövidül. Ezzel egy időben kisebb a valószínűsége annak, hogy a centrifuga leállításakor a kiülepedett anyag visszakeveredik. Az ülepedő részecskék a centrifugacső falára ülepednek ki.



3. ábra: Hat merevszögű mélyedést tartalmazó rotor oldalnézeti rajza

### *Lengőfejes rotorral felszerelt (kilendülőcsöves) centrifuga*

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. Úrtartalmuk 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.



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

### **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 az ásványolajiparban a korróziós tulajdonságok csökkentésére használt kénsavas finomításból eredő használt sav eltávolítására szeparátor centrifugát használnak. Olajtisztító eljárásoknál is elsősorban önürítő szeparátorokat használnak.

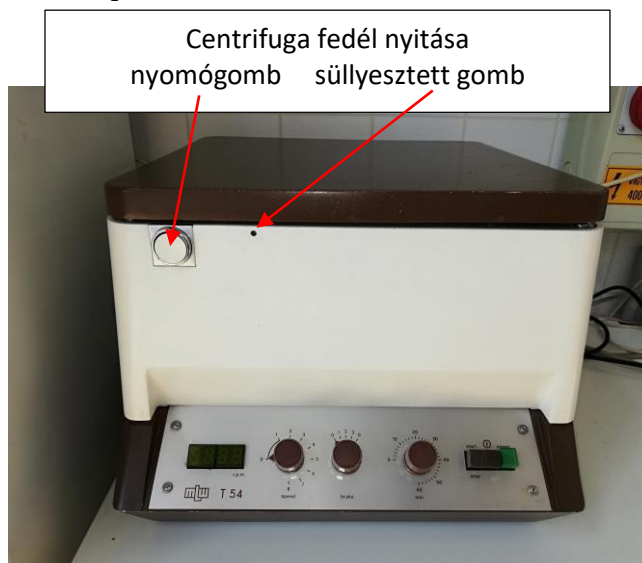
## 2. A MÉRÉSI GYAKORLAT LEÍRÁSA

A gyakorlat célkitűzése: Kréta- és keményítő tartalmú szuszpenzió ülepedése ferdecsőes centrifugával, a fordulatszám változtatás hatásának vizsgálata a centrifugálás hatásfokára. A számolt centrifugálási idő összevetése a gyakorlat során alkalmazott centrifugálási idővel. Teljesítményindex számítása.

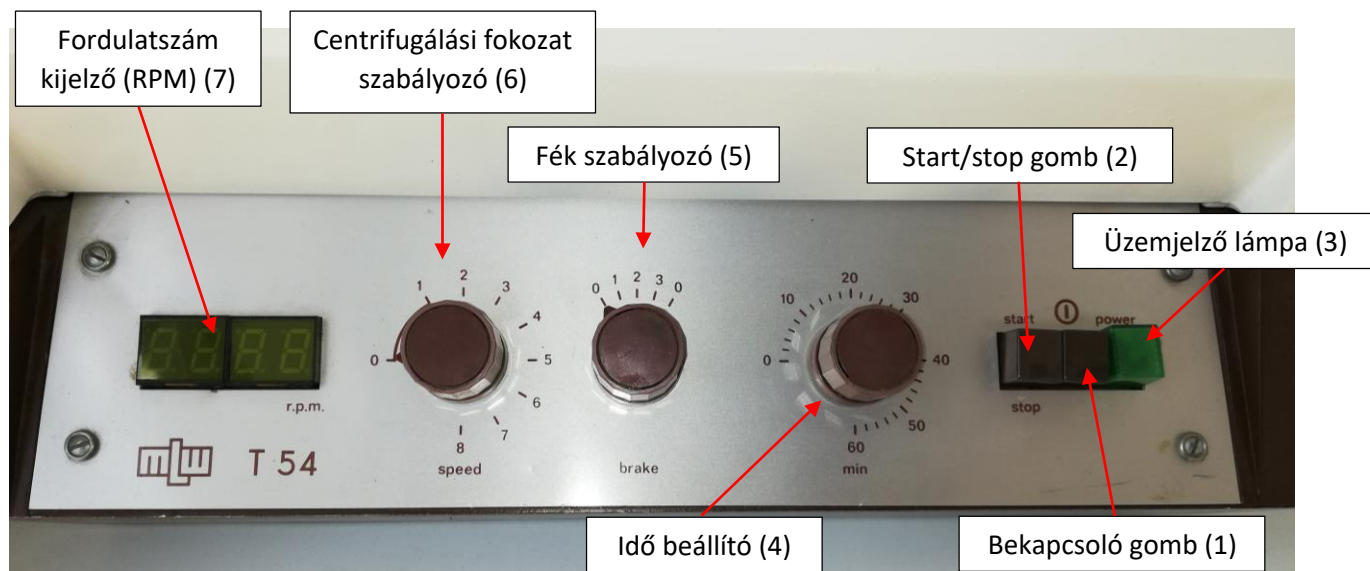
*Milyen mérési adatokra van szüksége a fenti adatok meghatározásához.*

### 2.1. A gyakorlat során alkalmazott centrifuga ismertetése

A mérési gyakorlatot egy MLW T54 típusú, ferdecsőes laboratóriumi centrifugával végzik el. A centrifuga fényképe az 5., kezelőpanele a 6. ábrán látható.



5. ábra: Az MLW T54 típusú ferdecsőes laboratóriumi centrifuga fényképe



6. ábra: Az MLW T54 típusú laboratóriumi centrifuga kezelőpanele

Az alkalmazott készülék rotorja 6 db serleggel működik, amelyek tengelye  $43^\circ$ -os szöget zár be a rotor tengelyével. A serlegekbe csak előzetesen műanyag vagy üveg centrifuga csövekbe töltött mintát szabad helyezni. Az ütközés csillapítását a serleg alján elhelyezett megfelelő méretű gumikorong biztosítja. A centrifugát mindig (a tengelyre középpontosan) szimmetrikusan kell

terhelni, szükség esetén tiszta vizet tartalmazó centrifuga csöveket felhasználva az ellensúlyozásra. A berendezés 220 V feszültséggel működik. A centrifuga fedele csak kikapcsolt állapotban nyitható, vagyis a betöltést és ürítést is kikapcsolt állapotban kell végezni.

A számításához szükséges jellemző méret:  $r_{\max} = 12,4$  cm.

## 2.2. Gyakorlati feladat

**Mérési adataikat a mérésleirathoz mellékelt mérési adatlapon jegyezzék fel.**

1. Készítsenek 1 liter 0,5 (m/m)% illetve 1 (m/m)% krétaapor tartalmú szuszpenziót a laboratóriumi asztalon elhelyezett folyadéküvegekbe.
2. Mérjenek ki 3 – 3 db centrifuga csőbe közel 80 ml 0,5 (m/m)% illetve 1 (m/m)% krétaapor tartalmú szuszpenziót. A szuszpenzió kimérése előtt a szuszpenziót felrázással homogenizálják. A minták tömegmérését táramérlegesen kell elvégezni. A centrifugát mindig csak kiegyensúlyozott állapotban szabad üzemeltetni, ezért a mintával töltött centrifuga poharak bruttó tömege közötti megengedett tömegkülönbség 1 g lehet.
3. A centrifuga fedelének nyitása után helyezték a betöltött centrifuga csöveket a centrifuga serlegeibe. A centrifuga fedele az 5. ábrán látható gombok együttes megnyomásával nyitható. Az 5. ábrán látható kisebb átmérőjű süllyesztett gomb a labor asztalon elhelyezett fém pálca segítségével érhető el.
4. Minden betöltött centrifuga cső esetén mérjék meg a folyadékszintnek a rotorhoz eső legközelebbi pontjának a rotor tengelyétől mért távolságát ( $r_{\min}$ ).
5. A centrifuga fedelének zárása után ellenőrizzék, hogy az időt állító tekerő (a 6. ábrán 4-el jelölve) és a fék (5) is 0 állásban van.
6. Helyezzék áram alá a centrifugát az (1) gomb megnyomásával. Indítsák el a centrifugát a (2) gomb megnyomásával, majd a (6) gomb segítségével állítsák be a 3-as centrifugálási fokozatot. A fordulatszám a (7) kijelzőről olvasható le 1/min egységben. A centrifugálási fokozat beállítását követően a fordulatszám stabilizálódásáig stopper segítségével mérjék a felfutási időt és jegyezzék fel a mérési adatlagra. Az adott fokozathoz tartozó állandó fordulatszámon 10 percig végezzék a centrifugálást. A beállított fokozatot és a rotor fordulatszámát jegyezzék fel a mérési adatlagra. Mivel a centrifugálást viszonylag rövid ideig végezzük, ezért eltekintünk az időt állító tekerő használatától. 10 perc után állítsák vissza a fokozat szabályozót nullára, kapcsolják ki a centrifugát a start/stop gomb (2) segítségével majd fékezéssel állítsák meg a rotort a fékező gomb (5) 3-as állásba való tekerésével. Stopper segítségével mérjék a leállási időt. Miután meggyőződtek arról, hogy az aktuális fordulatszámot mutató kijelző (7) nullát mutat és a rotor leállt kapcsolják ki a centrifugát az (1) gomb megnyomásával. A centrifuga fedele csak a rotor leállítását és a centrifuga kikapcsolását követően nyitható.
7. A felülúszó leöntése után mérjék meg a felülúszó és a nedves iszap tömegét.
8. A centrifuga határfokának számításához határozzák meg a kiülepedett nedves iszap szárazanyag tartalmát. Ehhez vegyenek mintát a kiülepedett nedves iszaptól előre lemért tömegű Petri-csészébe. Határozzák meg a nedves iszampinta tömegét, majd helyezték a mintát 105 °C-on üzemelő szárítószekrénybe. 20 percig történő szárítás elegendő. A minta lehűlését követően határozzák meg a száraz iszampinta tömegét.  
*Hogyan határozható meg a centrifuga határfoka? A centrifuga határfokának számításához miért kell meghatározni a kiülepedett nedves iszap szárazanyagtartalmát? A nedves iszampinta szárazanyagtartalma alapján hogyan számítják ki a ténylegesen kiülepedett nedves iszap szárazanyagtartalmát? Mit feltételezünk a nedves iszampinta mintavételezése során?*
9. Ismételjék meg a mérést 4-es fokozaton.



### 3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

1. Számítsák ki a centrifuga jelzőszámát mindkét fordulatszámon az (5) egyenlet segítségével.
2. Számítsák ki a teljesítményindexet mindkét fordulatszámon a (6) egyenlet segítségével.
3. Határozzák meg a számított centrifugálási időt a két különböző fordulatszámon, majd vessék össze a mért centrifugálási idővel.
4. A vizsgált minták esetén határozzák meg a felülúszónak és a nedves iszap tömegének a bemért minta tömegéhez viszonyított %-os arányát.
5. A vizsgált minták esetén határozzák meg a hatásfokot és értékeljék.

#### A számításhoz szükséges fizikai adatok:

- Krétapor átlagos szemcseátmérő:  $1 \mu\text{m}$
- Krétapor sűrűsége:  $1121 \text{ kg/m}^3$
- Krétapor tartalmú víz sűrűsége:  $1010 \text{ kg/m}^3$

A krétaporos víz dinamikai viszkozitása helyett a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on mért víz dinamikai viszkozitásával ( $1 \text{ mPas}$ ) számolhatnak.

#### 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 (1 – 5. pontok szerint), amelyben az eredmények ki vannak emelve.
3. A mérési eredmények rövid, szöveges értékelése. Hasonlítsák össze a különböző fordulatszámon mért értékeket.

#### **Felhasznált irodalmak:**

- [1] Fonyó Zsolt, Fábri György: Vegyipari művelettani alapismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
- [2] Manczinger József: Vegyipari műveleti számítások I., Hidrodinamika, hőtan, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000. (jegyzet azonosító: 60861).
- [3] Bass Emil: Vegyipari gépek és műveletek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
- [4] Fejes Gábor: Centrifugálás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.

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

Ellenőrizte: Deák András  
Valentínyi Nóra  
Székely Edit

Budapest, 2019. szeptember

## MÉRÉSI ADATLAP - Szuszpenziók tisztítása centrifugálással

Fokozat / Centrifuga fordulatszáma, 1/min						
Minta jelölése						
1. Szuszpenzió konc., tömeg%						
2. Centrifuga cső tömege, g						
3. Centrifuga cső + szuszpenzió tömege, g						
4. Bemért szuszpenzió tömege, g						
5. Elméletileg kiülepíthető szárazanyag tartalom, g						
6. $r_{min}$ , cm						
7. Felfutási idő, min:sec						
8. Centrifugálási idő, min:sec						
9. Leállási idő, min:sec						
10. Erlenmeyer lombik tömege, g						
11. Lombik + felülúszó tömege, g						
12. Felülúszó tömege, g						
13. Centrifuga cső + nedves iszap tömege, g						
14. Kiülepedett nedves iszap tömege, g						
15. Petri-csésze tömege, g						
16. Petri-csésze + nedves iszap tömege, g						
17. Nedves iszapminta tömege, g						
18. Petri-csésze + száraz iszap tömege, g						
19. Száraz iszapminta tömege, g						
20. Minta szárazanyagtartalma, %						
21. Kiülepedett nedves iszap szárazanyagtartalma, g						
22. Hatásfok, %						

## MÉRÉSI ADATLAP - Szuszpenziók tisztítása centrifugálással

Fokozat / Centrifuga fordulatszáma, 1/min						
Minta jelölése						
1. Szuszpenzió konc., tömeg%						
2. Centrifuga cső tömege, g						
3. Centrifuga cső + szuszpenzió tömege, g						
4. Bemért szuszpenzió tömege, g						
5. Elméletileg kiülepíthető szárazanyag tartalom, g						
6. $r_{min}$ , cm						
7. Felfutási idő, min:sec						
8. Centrifugálási idő, min:sec						
9. Leállási idő, min:sec						
10. Erlenmeyer lombik tömege, g						
11. Lombik + felülúszó tömege, g						
12. Felülúszó tömege, g						
13. Centrifuga cső + nedves iszap tömege, g						
14. Kiülepedett nedves iszap tömege, g						
15. Petri-csésze tömege, g						
16. Petri-csésze + nedves iszap tömege, g						
17. Nedves iszapminta tömege, g						
18. Petri-csésze + száraz iszap tömege, g						
19. Száraz iszapminta tömege, g						
20. Minta szárazanyagtartalma, %						
21. Kiülepedett nedves iszap szárazanyagtartalma, g						
22. Hatásfok, %						