

Portechnikai anyagjellemzők

Tömeg, térfogat, sűrűség, nyomás és térfogatáram mérés, hosszúság és fluidizációs anyagjellemzők meghatározása

A mérés keretében szemcsés illetve poros anyag alábbiakban felsorolt legfontosabb fizikai jellemzőit határozzuk meg:

- Szemcse méret, szemcseméret-eloszlás
- Halmazsűrűség
- Fluidizációs sebesség, légáteresztő anyagréteg ellenállás

Ezek mérése egyszerű eszközökkel megvalósítható. A mérések során tömeg (súly), térfogat, nyomás, térfogatáram, hosszúság méretek meghatározására kerül sor.

1. Szemcseméret, szemcseméret-eloszlás

Geometriai szempontból szabályos testek jellemzésére a lineáris méret szolgál, ami gömb esetében az átmérő, kocka esetében az él hosszúság. Ömlesztett anyagok, szabálytalan alakú szemcsék jellemző mérete valamelyik átlagos lineáris méret lehet. (Pl.: a szita lyukmérete, vagy az esési sebességből számítható méret)

Az ömlesztett anyagok (pl. homok, cement, szén vagy egyéb porok) változó méretű szemcsékből állnak. Bizonyos számítási módszerek alkalmazásához célszerű ezeket az anyagokat egyetlen közepes szemcsemérettel jellemezni. A közepes szemcseméret definiálásához két dolgot kell figyelembe venni. Először is tudnunk kell, hogy a szemcsék geometriai szempontból általában szabálytalan alakú testek, ezért egy egyedi szemcse jellemző méretének megállapítása sem egy közismert hosszúság mérési módszerrel történik. Másrészt arra is tekintettel kell lennünk, hogy a különböző porokban az egyes szemcseméretetek különböző gyakorisággal fordulnak elő, és az átlagos szemcseméretnek valamilyen módon tükröznie kell ezt a tulajdonságot is.

Mindkét kérdés megválaszolását elősegíti, ha veszünk egy nagyobb majd egy kisebb lyuk-méretű szitát. A szóban forgó anyag egy adott tömegét szitáljuk át először a nagyobb lyukméretű, majd az áthullott anyagot a kisebb lyukbőségű szitán. Az utóbbi szitán fennmaradó ún. „frakciótömeg” úgy jellemezhető, hogy szemcsemérete éppen a két szita lyukmérete közé esik. Viszonyítsuk a frakciótömeget a kiindulási tömeghez. Ez a viszonyszám megmutatja, hogy a fenti két szitalyuk-méret közé eső szemcseméretetek milyen relatív gyakorisággal fordulnak elő a poros anyagban.

E gondolatok alapján definiálni tudjuk a szemcseméret tapasztalati sűrűségfüggvényét. Válasszunk egyre bővülő lyukméretű szitasorozatot, amelyben az „i” -edik szitára jellemző lyukméret legyen „ x_i ”

$$x_0 < x_1 < x_2 \dots < x_i < \dots < x_{N-1} < x_N$$

Az „ M_0 ” tömegű poros anyagot szitáljuk át a legnagyobb lyukméretű szitán, az áthullott anyag mennyiségét a következő szitán és így haladjunk végig az összes szitaméreten.

Legyen az „ $i+1$ ” -edik szitán átesett, de az „ i ” -edik szitán fennmaradt frakciótömeg jele „ M_i ”. Képezzük az „ m_i ” hányadost, az un. relatív frakciótömeget

$$m_i = \frac{M_i}{M_0} \quad (1.1)$$

Az „ m_i ” érték egyben jelenti az $[x_i, x_{i+1}]$ méret intervallumba esés *relatív gyakoriságát* is.

A szemcseméret tapasztalati sűrűség függvénye az a lépcsős függvény amelynek az $[x_i, x_{i+1}]$ intervallum fölé eső területe éppen az intervallumba esés „ m_i ” *relatív gyakoriságát* adja meg. Legyen $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$, ekkor a tapasztalati sűrűség függvény „ f_i ” ordinátája

$$f_i = \frac{m_i}{\Delta x_i} \quad (1.2)$$

Az $f_i(x_i)$ lépcsős függvényt nevezzük a *szemcseméret tapasztalati sűrűség függvénynek*.

A poros anyag szemcseméret szerinti összetétele úgy is jellemezhető, hogy az „ m_j ” relatív frakciótömegeket összegezzük egy tetszőleges rögzített „ i ” -ig, akkor azt az összegzett relatív tömeget kapjuk meg mintha csak az „ i ” -edik szitán szitáltuk volna át a poros anyagot. Ezt az „ R_i ” összeget hívjuk az „ i ” -edik szitához tartozó relatív szitamaradéknak

$$R_i = \sum_{j=1}^i m_j = \sum_{j=1}^i f_j \Delta x_j \quad (1.3)$$

A szemcseméret tapasztalati gyakorisági függvényének birtokában tudjuk meghatározni a *közepes szemcseméretet* is. Az „ M_i ” frakciótömeg szemcséinek mérete az $[x_i, x_{i+1}]$ határok közé esik. Az intervallum *átlagos szemcsemérete* legyen „ x_i átl”, ami az alábbi módon számítható

$$x_{i\text{átl}} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \quad (1.4)$$

Az egész „ M_0 ” tömeg *közepes szemcseméretének* értékét a következő súlyozott átlag adja

$$x_{\text{mköz}} = \sum_{i=0}^N f_i \Delta x_i x_{i\text{átl}} = \sum_{i=0}^N m_i x_{i\text{átl}} \quad (1.5)$$

Az összegzés során az „ $x_{i\text{átl}}$ ” szemcseméretre rendelt súly éppen az előfordulásának relatív gyakorisága. Így az „ $x_{\text{mköz}}$ ” közepes szemcseméret definíciója tükrözi az adott poros anyag szemcseméretének és összetételének befolyását is.

Az elemzésre használt laboratóriumi sziták nyílásméretei szabványosítva vannak, s általában mértani sorozatot alkotnak, az egyes országokban eltérő hányadossal.

Néhány ország szitasorozatának szabvány elnevezése és a szomszédos szitaelemek nyílásméreteinek hányadosa az 1.1. táblázatban látható.

Az angolszász nyelvterületen az 1 hüvelykre (25,4 mm) eső csokorszámot adják meg, a német szabvány szerint közvetlenül a nyílásméretet, úgyszintén hazánkban is. Magyarországon elemzési célokra a következő nyílásméretetek szabványosak:

- durvaszemcsés anyagok elemzésére: 150; 100; 80; 50; 30; 20; 10; 5; 2,8; 1; 0,5 mm

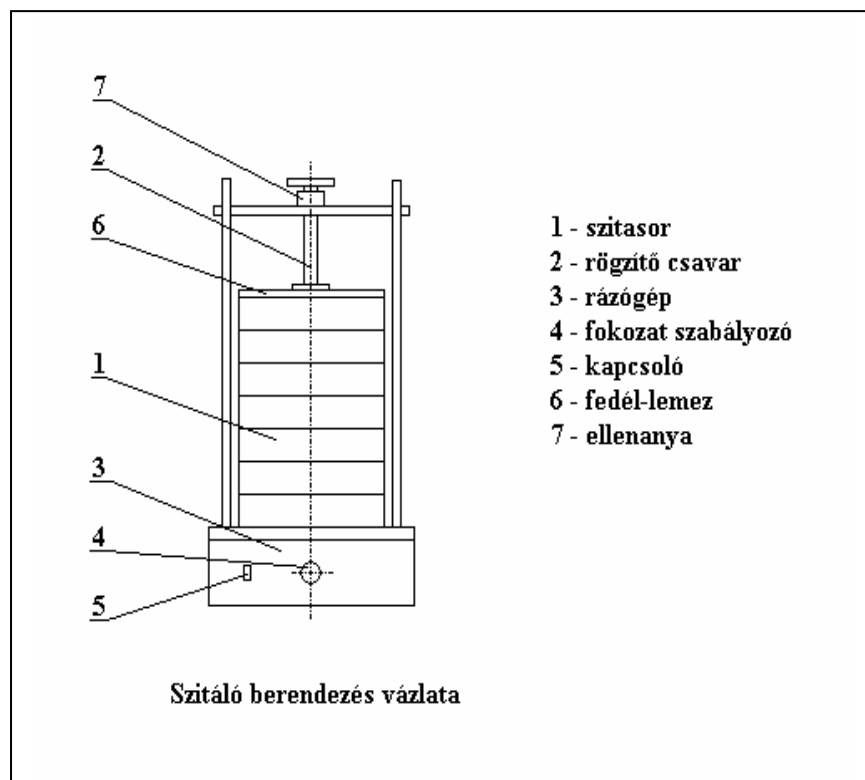
- a porokéra pedig: 1,00; 0,50; 0,40; 0,32; 0,20; 0,16; 0,12; 0,10; 0,09; 0,08; 0,063; 0,056; 0,05; 0,045 és 0,04 mm.

A 63 μm -nél kisebb nyílásméretű laboratóriumi szitalapokon csak áramló közeg segítségével (folyadékoblítással vagy légekszívással) lehet szitálni.

1.1. táblázat

| Ország | Szita szabvány | |
|---------------|--------------------------------|------------------|
| | jele | hányadosa |
| Magyarország | MSZ 6759-74 | $2\sqrt[10]{10}$ |
| Franciaország | A.F.N.O.R. | $1\sqrt[10]{10}$ |
| Anglia | British Standard B.S.S. 410 | - |
| USA | A.S.T.M. E11 | $\sqrt[4]{2}$ |
| | Tyler | $\sqrt{2}$ |
| Németország | DIN 4188 | $2\sqrt[10]{10}$ |

A mérési feladat:



1.1. ábra

A szitáló berendezés vázlata az 1.1. ábrán látható. A mérés megkezdése előtt válassza ki a szitálandó anyag szemcseméretéhez igazodó szitasorozat elemeket, a 2 jelű rögzítő csavar oldásával szedje szét a szitást, győződjön meg róla, hogy a szitakeretek ki vannak-e tisztítva és a tiszta szitaelemek tára tömeg adatait mérje meg a 0,1 gramm pontosságú mérlegen történő mérés-sel.

A szítálandó anyagból „ M_0 ” – az anyagfajta halmazsűrűségétől függően – 100, 200, 250, 400 vagy 500g tömegű adagot kell mérőtálcán kimérni úgy, hogy a kimért adag az összeállított szítasorozat legfelső, azaz legnagyobb nyílásméretű elemére tömörítés nélkül betölthető legyen.

A szítákat az „ x ” nyílásméret szerint sorba kell rakni úgy, hogy a rázógépen felül legyen a legdurvább szita (mérete „ x_N ”), majd az egyre finomabb szíták következnek „ x_{N-1} ”, „ x_{N-2} ” „ x_2 ”, „ x_1 ”, „ x_0 ”.

A kimért „ M_0 ” tömegű anyag adagot a legdurvább szitába téve a felső fedőlappal lezárt szítasort a szítáló gépen rögzítse. A laboratóriumi mérési gyakorlatokhoz kiválasztott anyagfajtákat kb. 20 percig 8-as fokozaton szítálgjuk. Az anyagminta összetételéhez igazodva az 1.2. táblázatban feltüntetett jelöléseknek megfelelő következő szítákat használjuk

1.2. táblázat.

| A szita „ i ” sorszám | „ x_i ” lyukmérete | [„ x_i ”-„ x_{i+1} ”] méret tartománya |
|-------------------------|----------------------|--|
| $i=6$ | $x_6=$ | $x_6 - x_7$ |
| $i=5$ | $x_5=$ | $x_5 - x_6$ |
| $i=4$ | $x_4=$ | $x_4 - x_5$ |
| $i=3$ | $x_3=$ | $x_3 - x_4$ |
| $i=2$ | $x_2=$ | $x_2 - x_3$ |
| $i=1$ | $x_1=$ | $x_1 - x_2$ |
| $i=0$ | $x_0=0$ | $x_0 - x_1$ |

A szítálás után meg kell határozni az egyes szítákon fennmaradt anyag „ M_i ” tömegét.

A szíták legmondosabb kiürítése esetén is a legapróbb szemcsék egy része elvész (M_v), ezért a frakciótömegek összege rendszerint valamivel kevesebb a kiindulási tömegnél. Az előzőek alapján a legfinomabb frakciót korrigáljuk a hiányzó tömeggel.

A következő feladat az egyes szemcseméreték „ m_i ” *relatív gyakoriságának* számítása az 1.1 összefüggés szerint, azaz

$$m_i = \frac{M_i}{M_0} \quad (1.6)$$

A vizsgált anyagfajta szemcseméret-eloszlásának jellemzésére kiszámítjuk a következő összefüggés alapján definiált tömegeloszlás szerint súlyozott *közepes szemcseméret* értékét az 1.5 összefüggést felhasználva írható, hogy

$$x_{mköz} = \sum_{i=0}^N f_i \Delta x_i x_{iátl} = \sum_{i=0}^N m_i x_{iátl} \quad (1.7)$$

ahol $x_{iátl} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$ a frakció [„ x_i ”-„ x_{i+1} ”] szemcseméret tartományának átlaga az 1.4 összefüggésnek megfelelően. A méréseken szítálandó anyagfajták legnagyobb szemcseméretét a minták előzetes szítálásával kell meghatározni, azaz ki kell választani azt a legkisebb nyílásméretű szitát amelyen a teljes anyagminta átesik.

A számítást az alábbi 1.3. táblázat szerint végezze el

1.3. táblázat

| $x_i - x_{i+1}$ | M_e | $M_i + M_{ei}$ | M_i | m_i | Δx_i | R_i | f_i | $x_{i\text{átl}}$ |
|--------------------------------------|-------|----------------|-------|-------|--------------|-------|--------|-------------------|
| A frakció alsó és felső határa | [g] | [g] | [g] | [-] | [mm] | [-] | [1/mm] | [mm] |
| $x_6 - x_7$ | | | | | | | | |
| $x_5 - x_6$ | | | | | | | | |
| $x_4 - x_5$ | | | | | | | | |
| $x_3 - x_4$ | | | | | | | | |
| $x_2 - x_3$ | | | | | | | | |
| $x_1 - x_2$ | | | | | | | | |
| $x_0 - x_1$ | | | | | | | | |

A bemért anyagdag tömege: $M_0 =$ gramm

A táblázatban „ M_{ei} ” az „ i ”-edik edény (tisztá szita) tömege.

A szitaanalízis kiértékelésének eredményeként A4-es milliméterpapíron ábrázolja az $f_i(x)$ *lépcsős függvényt*, azaz a szemcseméret tapasztalati sűrűség függvényt.

2. Jellemző sűrűségek. Sűrűség mérés

A poros, szemcsés anyagokkal végzett különböző műveletek, szállítási és tárolási állapotok közben többféle sűrűség definiálása szükséges.

Tömör anyag sűrűségnek nevezzük a porszemcse anyagának sűrűségét, azaz a pórusmentesnek képzelt porszemcse egységnyi térfogatra jutó tömegét.

A *látszólagos sűrűség* a porszemcse tömegének és belső pórusaival együtt mért térfogatának hányadosa.

Ömlesztett sűrűség vagy *laza halmaz sűrűség* névvel illetik a porhalmaz térfogategységnyi tömegét közvetlenül a mérőedénybe való betöltés után mérve.

Az ömlesztett sűrűség meghatározására számos különböző módszer ismeretes, ám ezek csak abban térnek el egymástól, hogy milyen módon viszik az ömlesztett anyagot a mérőedénybe és egészítik ki pontos térfogatra.

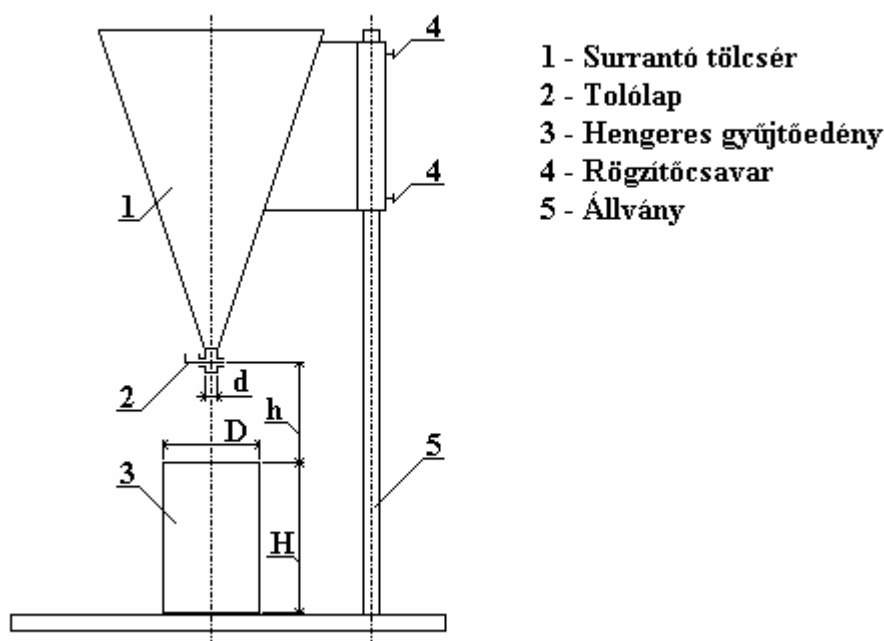
A por mérőedénybe juttatásának módja igen jelentős; minél lassabban és minél alacsonyabbról adagolják a port, annál kisebb az ömlesztett sűrűség értéke, mert az anyag erőszakos rázása nem következik be. Az egyes szerkezetek (pl. Gary-féle készülék, Böhme-féle készülék) állandó magasságról adagolják a mérőedénybe a port.

Az ömlesztett sűrűség függ a szemcsék alakjától. Minél jobban eltér a szemcse a gömbalaktól, annál kisebb azonos anyagfajtánál a fenti sűrűség értéke. Fontos a részecskék szemcseméret eloszlása is, de a részecskék nagyságával (különösen a nagyon finom porok

esetén) együtt járhat agglomerálódásuk, azaz csomókká történő összetapadásuk is. Pontos összefüggés a szemcseméret eloszlás és az ömlesztett sűrűség között nem állapítható meg. Itt ui. nem lehet a térnek porrészecskékkel való egyenletes kitöltéséről beszélni, hanem a részecskék véletlen kölcsönös összeállításáról van szó. Ennek következtében gyakran megakad a részecske vagy részecskecsoport és üregek, boltozatok keletkeznek. A durvább szemcsészetű porok tömege rendszerint nagyobb, mint a nagyon finom poroké.

A mérési feladat

Feladat a szitálandó poros anyag ömlesztett sűrűségének a meghatározása.



Készülék poros anyag ömlesztett sűrűségének mérésére

2.1. ábra

A 2.1 ábrán poros anyag ömlesztett sűrűségének mérésére szolgáló kísérleti berendezés vázlatja látható. Az 1 jelű 30°-os kúpszögű surrantó tölcserbe helyezett anyag a 2 jelű tolólap kihúzása után a 3 jelű hengeres gyűjtőedénybe surrantható. A hengeres gyűjtőedény geometriai méreteinek (H – magasság, D – belső átmérő) ismeretében, továbbá az üres ill. tele edény mérlegelési adatainak felhasználásával a poros anyag ömlesztett sűrűsége meghatározható.

Az ömlesztett sűrűség

$$\rho_{\bar{o}} = \frac{m_{et} - m_{e0}}{V_e} \quad (2.1)$$

ahol: m_{et} [kg] - a porral töltött edény tömege
 m_{e0} [kg] - az üres edény tömege

V_e [m³] - az edény térfogata

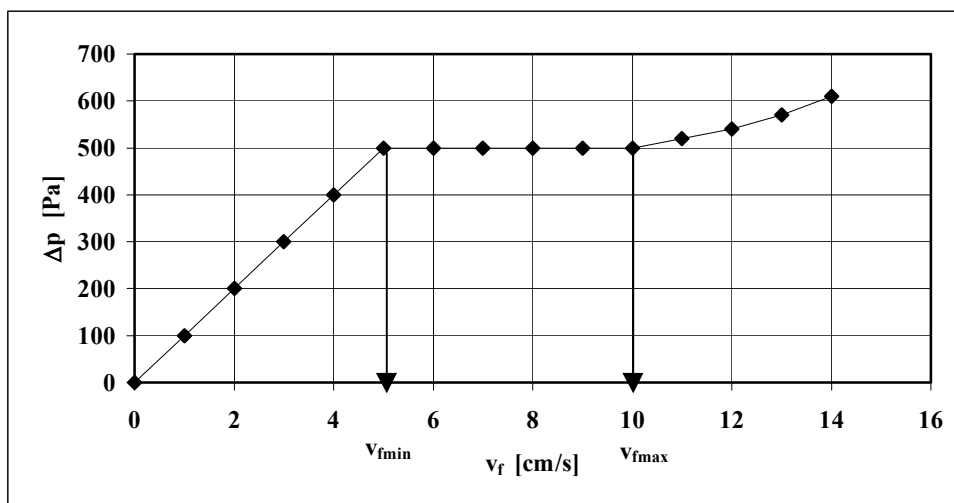
A méréshez szükséges eszközök: mérőedény, poros ill. szemcsés anyag, mérőszalag, mérleg.

Mérjük meg a hengeres mérőedény geometriai méreteit, „H” – magasságát, „D” – belső átmérőjét, az üres mérőedény „ m_{e0} ” tömegét, majd a surrantó tölcser kifolyónyílásánál lévő tolólap nyitásával töltsük tele a szemcsés anyaggal a mérőedényt. A mérőedény tetején az anyag rézsűszögének megfelelően túlfolyik. A kialakítandó burkoló henger térfogat fölé eső részt a berendezéshez mellékelt sík lemezzel vízszintes felületűre simítsuk le, majd mérjük meg a mérőedény „ m_{et} ” tömegét a szemcsés anyaggal együtt.

Az ömlesztett sűrűség a 2.1 összefüggés alapján ezek után meghatározható.

3. Fluidizációs sebesség, légáteresztő anyagréteg ellenállás

A pneumatikus szállítás több területén lényeges művelet a fluidizáció, azaz a poros ill. aprószemcsés szilárd anyag fluidummal (gáz, többnyire levegő) történő átáramoltatása. Ha valamilyen légelosztó rétegen nyugvó finomszemcsés (általában 0,005-1,0 mm átmérőjű szemekből álló) anyaghalmozaton alulról gázt áramoltatunk át, akkor az anyag szemcse nagyságától és sűrűségétől függő gázsebesség - az un. „ v_{fmin} ” minimális fluidizációs sebesség fölött a porréteg kiterjed, az egyes szemcsék lebegésbe jönnek, a lebegés révén éppen csak érintik egymást, majd az egész réteg „forrásban” lévő folyadékhoz hasonló állapotot vesz fel. Innen az állapot neve: fluidumhoz hasonló.



3.1. ábra

A 3.1. ábra mutatja az anyaghalmozaton átáramló gáz „ Δp ” nyomáscsökkenés és a „ v_f ” fluidizáló gázsebesség közötti kapcsolatot idealizált ábrázolásban. A $v_f < v_{fmin}$ fluidizáló gázsebesség-tartományban a rétegben lévő anyagszemcsék a helyükön maradnak, a nyomáscsökkenés egyenesen arányos a gázsebességgel. Egészen kicsiny szemcseméreteknél ($x < 10 \mu\text{m}$) ez a törvényszerűség már nem érvényes. Az anyagréteg fellazulása a töréspontnál, pontosabban a töréspont közelében megkezdődik. A nyomáscsökkenés ugyanitt egyenlő az egységnyi keresztmetszetre jutó szemcsék súlyával

$$\Delta p = \frac{V_a(\rho_a - \rho_g)g}{A} = \frac{(1 - \varepsilon)V(\rho_a - \rho_g)g}{A} = (1 - \varepsilon)(\rho_a - \rho_g)gh \quad (3.1)$$

Az összefüggésben

| | | |
|---|----------------------|---|
| A | [m ²] | - a fluidizált réteg teljes keresztmetszete |
| h | [m] | - az anyagréteg magassága |
| V | [m ³] | - az anyagréteget burkoló henger térfogata |
| ρ_a | [kg/m ³] | - a tömör anyag sűrűsége |
| ρ_g | [kg/m ³] | - a gáz sűrűsége |
| $\varepsilon = \frac{V_g}{V} = \frac{V_g}{V_a + V_g}$ | [-] | - a hézagterfogat-arány vagy porozitás |
| g | [m/s ²] | - a gravitációs gyorsulás |

Indexek: a – ömlesztett szilárd anyag
g – fluidizáló gáz (levegő)

A minimális fluidizációs sebességnél adódó „ ε_{fmin} ” porozitás értéke az anyagréteg fellazulása, kiterjedése miatt nagyobb, mint a nyugvó halmazé.

A gázsebesség további növelésével a nyomásesés az ideálisan fluidizálható szemcséknél nem változik a $v_{fmin} < v_f < v_{fmax}$ tartományban, majd a maximális fluidizációs sebességnél megkezdődik az anyagszemcsék kihordása.

A minimális fluidizációs sebességet, mint a gázzal átáramoltatott szemcsés anyaghalmoz egyik fizikai jellemzőjét kísérleti úton kell meghatározni.

A mérési feladat

A kísérleti berendezés vázlatát a 3.2. ábra mutatja. A fluidizáláshoz szükséges levegőt a „G” jelű áramlástechnikai gép (ventilátor, fúvó vagy kompresszor) szolgáltatja. Az „SZ” jelű szabályószelep segítségével beállítható levegő térfogatáramot az „R” jelű rotaméter segítségével mérjük.

A rotaméter vagy szokásos nevén lebegőtestes áramlásmérő lényegében függőleges, többnyire átlátszó, kör keresztmetszetű, felfelé bővülő kúpos csőből áll, melyben a közeg alulról felfelé áramlik. A csőben, annak tengelye mentén, az átáramló „folyadék” – esetünkben gáz (levegő) - által felemelve és forgatva a műszer mutatóját képező úszó vagy lebegőtest szabadon mozoghat. Nevét forogva lebegő úszójáról kapta. Állandó nyomásesésű, változó átfolyási keresztmetszetű mennyiségmérő.

A „K” jelű fluidizáló készülék „L” hosszúságú „D” átmérőjű átlátszó falú függőleges csövében helyezük el a vizsgálandó poros anyagot, amelyet a mérés megkezdése előtt, azaz légáram nélkül az „SZ” jelű szelep zárt helyzetében kb. $h_0 = D$ magassáig töltünk a készülékbe. A „ h_0 ” nyugvó anyagréteg magasságának leolvasásához először mérési adatok leolvasása nélkül lazítsuk meg a betöltött anyagréteget, hogy az „fluidumként” viselkedve vízszintes felszint vegyen fel, majd az „SZ” jelű szelep lezárása után mérjük meg beállítandó rétegmagasság értéket. Az anyagrétegen keresztül az egyenletes átáramlást az „E” jelű

Adatok, jelölések

| | | |
|---|-------|---|
| $D=70\text{mm}$ | | - a fluidizáló készülék belső átmérője |
| $\rho_v=1000\text{kg/m}^3$ | | - a víz sűrűsége |
| $\rho_{\text{Hg}}=13600\text{kg/m}^3$ | | - a higany sűrűsége |
| $\Delta p_0 = (h_{01} - h_{02})\rho_v g$ | [Pa] | - az elosztó réteg ellenállása |
| h_{01}, h_{02} | [m] | - az U-csöves manométer ágainak kitérései a tiszta elosztó réteg mérésekor |
| $\Delta p = (h_1 - h_2)\rho_v g$ | [Pa] | - a por és elosztó réteg együttes ellenállása |
| h_1, h_2 | [m] | - az U-csöves manométer ágainak kitérései a poros anyag mérésekor |
| $\Delta p_a = \Delta p - \Delta p_0$ | [Pa] | - a poros anyagréteg ellenállása |
| $v_f = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{D^2 \pi}{4}}$ | [m/s] | - a fluidizációs sebesség |

A mérésre hozni kell 3 db szokásos módon keretezett és a táblázatos számítások elvégzéséhez otthon előkészített A4-es lapot, valamint 2 db A4-es milliméterpapírt a szitaanalízis eredményének és a fluidizációs jelleggörbe ábrázolásához.

A jegyzőkönyvnek tartalmazni kell a mérőberendezések szabadkézzel készített vázlatait, a mérés rövid leírását és a számítási összefüggéseket egyaránt.

Budapest, 2003-09-17

Dr. Váradi Sándor
Egyetemi docens