

# Ciklon mérése

## 1. A mérés célja

Ciklont az ipar számos területén (élelmiszeripar, vegyipar, építőipar, energiaipar) használnak különböző szemcsés, poros anyagok levegőből való eltávolítására.

A mérés során a hallgatók feladata a Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék laboratóriumában megépített ciklonvizsgáló berendezés megismerése és a ciklon alábbi jellemzőinek megmérése:

$\Delta p_{co} = f(v_{cső})$       Ciklon üresjárási nyomásesése a légsebesség függvényében

$\Delta p_c = f(v_{cső})$       Ciklon nyomásesése a légsebesség függvényében anyagszállításkor

$v_t = f(R)$       Ciklon tangenciális sebességeloszlása a sugár mentén

A fenti jelölések:

$\Delta p_{co}$ ,  $\Delta p_c$ : a ciklon nyomásesése üresjáráskor ill. anyagszállítás közben

$v_t$ : tangenciális sebesség a ciklonban

$v_{cső}$ : sebesség a ciklon bemenő csőjében

$R$ : ciklon sugár koordinátája

## 2. A berendezés leírása

A berendezés vázlatos rajza az 1. ábrán látható. A rendszerbe, a ventilátor (1) szívóhatására az adagolónál (2) lévő csövön lép be a levegő és az anyag keveréke, amely csővezetéken keresztül a ciklonba (3) tangenciálisan érkezik. Belépés után a ciklon fala mentén lefelé áramlik, miközben a centrifugális erőtér hatására a porszemcsék kiválnak a vivő-közegből és összegyűlnek a berendezés alján lévő tartályba. A vivő-közeg a ciklon kilépő csőjén felfelé áramlik, majd csővezetéken keresztül a szűrőbe (5) kerül, ahol a maradék szemcsék (finom porfrakció) is leválasztódnak. A szűrőből a mérőperemen (6) keresztül jut a közeg a ventilátorba, onnan pedig a pillangószelepen (7) keresztül a szabadba. A rendszerben a különböző áramlási sebességeket (levegő tömegáramot) a pillangószelep nyitásával, illetve zárásával lehet beállítani.

### 3. A berendezés műszaki adatai

#### Ventilátor

|                 |        |
|-----------------|--------|
| Típusa:         | KNV 50 |
| Gyártási száma: | 41930  |

#### Adagolót hajtó elektromotor

|                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| Típusa:         | HZFP-63B-4DR/2061-1 |
| Gyártási száma: | 300-462-6           |

#### Manométer

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Típusa:         | ROSENMÜLLER |
| Gyártási száma: | 42386       |

#### Mérőperem

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| Csőátmérő:            | D=80 [mm] |
| Fojtónyílás átmérője: | d=50 [mm] |

### 4. A mérésben szereplő mennyiségek mérése, számítása

#### 4.1. Nyomáskereső a ciklonon

A ciklon  $\Delta p_c$  nyomáskereső meghatározása a ciklon belépő és kilépőcsőnkja közé kötött U csöves manométer segítségével történik. A manométerről leolvasott  $\Delta h_c$  kitérés értékéből a nyomáskereső az alábbi módon határozható meg:

$$\Delta h_c = h_{cj} - h_{cb} \quad [\text{m}]$$

$$\Delta p_c = \rho_{\text{víz}} \cdot g \cdot \Delta h_c \quad [\text{Pa}]$$

ahol

$\Delta h_c$  [m]: a manométer teljes kitérése

$\Delta p_c$  [Pa]: a ciklon nyomáskereső

$g$  [m/s<sup>2</sup>]: gravitációs állandó  $g=9,81\text{m/s}^2$

$\rho_{\text{víz}}$  : mérőfolyadék sűrűsége  $\rho_{\text{víz}}= 1000 \text{ kg/m}^3$

## 4. 2 Térfogatáram mérése

Térfogatáram mérése  $\beta = d/D = 50/80 = 0,625$  átmérőviszonyú gyűrűkamrás mérőperem segítségével történik. A mérőperemhez csatlakoztatott ROSENMÜLLER típusú ferdecsöves manométer mérőcsövét az üresjárású mérésnél és az anyagszállítási mérésnél is függőleges helyzetbe kell állítani. Ekkor  $\sin\alpha=1$ . A leolvasott kitérés értékéből a mérőperemen mért nyomáskülönbség számítható az alábbi módon:

$$\Delta p_p = \rho_{alkohol} \cdot g \cdot l \cdot \sin \gamma \quad [\text{Pa}]$$

ahol

$\Delta p_p$  [Pa]: nyomáskülönbség a mérőperem megcsapolásai között

$\rho_{alkohol}$ : az alkohol mérőfolyadék sűrűsége  $\rho_{alkohol} = 800 \text{ kg/m}^3$

$l$  [m]: a manométerről leolvasott kitérés

$\gamma$ : a manométer állítható mérőcsövének vízszintessel bezárt szöge

A mérőperemen átfolyó térfogatáram arányos a kivezetésein mért nyomásesés gyökével:

$$Q_1 = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_p}{\rho_{levegő}}}$$

ahol

$d$  [m]: a mérőperem fojtónyílásának átmérője

$\alpha$ : az átfolyási szám

$\varepsilon$ : az expanziós szám (ennek értéke a kis nyomásviszony miatt  $\varepsilon \approx 1$ )

$\rho_{levegő}$ : levegő sűrűsége (a mérőperem belépő oldali állapotában, azaz  $p_1$  abszolút nyomáson és  $T_1$  hőmérsékleten)

$$\rho_{lev} = \rho_{norm} \frac{p_1}{p_{norm}} \frac{T_{norm}}{T_1}$$

a számítás során a  $T_1$  hőmérséklet értéke a környezeti, laboratóriumi  $T_0$  hőmérséklettel azonosra választható

$$T_{norm} = 273 \text{ K}$$

$$b_{norm} = 760 \text{ mmHg} \rightarrow p_{norm} = 101396 \text{ Pa}$$

$$\rho_{norm} = 1,293 \text{ kg/m}^3$$

Az  $\alpha$  átfolyási szám az MSZ ISO 5167-1 szabvány szerint az alábbi módon számítható:

$$\alpha = C / (1 - \beta^4)^{0,5}$$

Ahol C az átfolyási tényező. Az átfolyási tényezőt a Stolz-féle formulával lehet kiszámítani:

$$C = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,184 \beta^8 + 0,0029 \beta^{2,5} (10^6 / \text{Re})^{0,75}$$

A fenti egyenletben szereplő Reynolds-szám:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

ahol

$D$  [m]: a mérőperem csőátmérője

$V$  [m/s]: az átáramló közeg sebessége

$\nu$  [m<sup>2</sup>/s]: a közeg kinematikai viszkozitása

A fent leírt összefüggésekkel a térfogatáram meghatározása iteratív úton történhet. Első közelítésben felvesszünk egy  $v_1$  közegsebességet majd ezzel kiszámítjuk a Re-szám értékét, azzal pedig a C tényezőt, ezután pedig meghatározzuk az átfolyási számot. Az átfolyási számmal számítható a sebesség második közelítése:

$$v_2 = \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_p}{\rho_{\text{levegő}}}}$$

A kapott sebességgel a fenti műveletet addig folytatjuk, amíg két egymás utáni iterációban számított sebességek relatív hibája 1% alá nem csökken. Amikor a hiba egy százalékos küszöb alá esik, akkor a fent bemutatott módon számíthatjuk a térfogatáramot.

Tetszőleges állapotban a nyomás és hőmérséklet mért értékeihez tartozó sűrűség és viszkozitás:

$$\rho_{\text{levegő}} = \rho_{\text{norm}} \cdot \frac{p}{p_{\text{norm}}} \cdot \frac{T_{\text{norm}}}{T}$$

$$\nu = \frac{P_{\text{norm}}}{p} (10^6 \cdot \nu_{\text{norm}} + 0,1 \cdot t) \cdot 10^{-6}$$

$p$  és  $p_{\text{norm}}$  - az abszolút nyomások [Pa]-ban

$T$  és  $T_{\text{norm}}$  - az abszolút hőmérsékletek [K]-ben

$t$  - a hőmérséklet [°C]-ban

$$v_{norm} = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

A ciklon nyomásesés görbéit a ciklon belépő sebessége ( $v_{cső}$ ) függvényében ábrázoljuk. Ehhez a mérőperem átfolyási egyenletéből számított térfogatáram értékét át kell számítani a ciklon belépő csonkján mért nyomáshoz ( $p_{be}$ ) tartozó állapotra, azaz

$$Q_{be} = Q_1 \frac{p_1}{p_{be}}$$

ahol

$$p_{be} = p_0 + \rho_{viz} g \Delta h_{c1}$$

Ezek után a ciklon belépő sebessége, a  $D_{be} = 55 \text{ mm}$ -es csőátmérő adatával számítható

$$v_{cső} = \frac{Q_{be}}{D_{be}^2 \pi / 4}$$

### 4.3 Tangenciális sebességeloszlás mérése a ciklonban

A sebességeloszlás mérése mérőszondával történik. A szonda középső kivezető csonkját összekötjük a ROSENMÜLLER manométer pozitív kivezetésével, a másik két csonkját összekötjük egymással, illetve a műszer negatív kivezetésével, így a szonda áramlási irányra merőleges furata és a ferde furatok közötti nyomáskülönbséget mérjük. Állandó térfogatáramú levegő (teljesen nyitott pillangószelep állás) mellett a szondát 5 milliméterenként kihúzva leolvassuk a manométer által mutatott kitérést. (a szonda középső furata az áramlás irányába nézzen és minden mérésnél azonos helyzetben legyen) A mérés alatt a ferdecsoves manométer  $\frac{1}{2}$  állásban legyen (ekkor  $\sin \alpha = 0.5$ )

A ROSENMÜLLER manométeren leolvasott kitérését a 2. ábrán bemutatott kalibrálási diagram segítségével helyesbítjük, azaz a diagramból meghatározzuk azt a kitérést amelyet a PRANDTL cső mutatott volna, ha szonda helyett a PRANDTL cső lenne beépítve. A manométer kitéréséből a nyomáskülönbség illetve a sebesség előzőekben ismertetett módon számítható.

A PRANDTL cső  $\Delta p_{prandtl}$  [Pa] nyomáskülönbségéből a  $v_t$  tangenciális sebesség az alábbi összefüggéssel számítható:

$$\Delta p_{prandtl} = \frac{\rho_{levegő}}{2} v_t^2$$

#### **4. 4 A ciklon után beépített zsákos szűrő nyomásesésének számítása**

A rendszer tartalmaz a ciklonon kívül egy zsákos porszűrőt is. A zsákos szűrő azért van a ciklon után sorba kötve, hogy a ciklon által le nem választott finom port felfogva, ne engedje azt a ventilátoron átáramolva a laboratórium légterébe jutni. A porszűrő ki és bemenő csomójára egy U-csöves manométer van kötve, így a berendezésen meghatározható a nyomásesés:

$$\Delta h_{sz} = h_{szb} - h_{szj}$$
$$\Delta p_{sz} = \rho_{v\acute{z}} \cdot g \cdot \Delta h_{sz}$$

Ha ez a nyomáskülönbség egy meghatározott értéket meghalad, akkor a szűrőzsákokat tisztítani kell.

### **5. A mérőberendezés üzembe helyezése**

- a manométer beállítása és az alkohol mérőfolyadék „0” szintjének ellenőrzése
- a ventilátor nyomócsomójának lezárása a pillangószeleppel (kis teljesítményfelvétel miatt)
- ventilátor indítása

### **6. Mérési pontok felvétele**

#### **6. 1 Ciklon jelleggörbéjének mérése (üresjárás, anyagszállítás)**

1. Pillangószelep segítségével különböző üzemállapotok beállítása (10-15 mérési helyzet felvétele az üzemi szakaszon és ezek úgy legyenek elosztva, hogy körülbelül azonos kitérésváltozások tartozzanak hozzájuk a mérőperemre kötött ROSENMÜLLER manométeren.)
2. Minden pillangószelep állásnál az U-csöves manométerek, és a ROSENMÜLLER manométer leolvasása
3. Mérési eredmények feljegyzése
4. Amennyiben anyagszállítás is van a ciklonban, akkor a szállítási idő valamint a szállított por tömegének mérése, és ebből az átlagos anyagtömegáram számítása
5. Mérés értékelése
6. A ciklon ellenállásának ábrázolása a belépő levegősebesség függvényében

$$\Delta p_{co} = f(v_{cs\acute{o}}) \quad \text{üresjáráskor}$$
$$\Delta p_c = f(v_{cs\acute{o}}) \quad \text{anyagszállítás közben}$$

## 6. 2 *Sebességeloszlás mérése*

1. A szonda és a manométer összekapcsolása mipolán csővel
2. A manométer „1: 5” helyzetbe való megdöntése, pontosabb leolvashatóság érdekében
3. Pillangószelep nyitott helyzetbe hozása
4. Mérőszonda beállítása, hogy a mérőfurat az áramlás irányába nézzen
5. Mérőszonda 5 milliméterenkénti kihúzása, ügyelve az azonos szöghelyzetre (középső mérőfurat áramlás irányával szembe nézzen)
6. Minden helyzetben a ROSENMÜLLER manométer leolvasása
7. Mérés értékelése
8. A tangenciális sebességeloszlás ábrázolása a sugár függvényében

$$v_t = f(R)$$

Az ábrázoláshoz az alábbi geometriai adatok használandók:

|                        |   |
|------------------------|---|
| $D_c = 350 \text{ mm}$ | a ciklon hengeres részének átmérője   |
| $D_u = 85 \text{ mm}$  | a ciklonból függőlegesen kilépő levegőcső átmérő  |
| $m = 23 \text{ mm}$    | a szonda sugár irányban ütközésig betolt állapotában<br>( $R = 52.5 \text{ mm}$ ) mérhető hossza<br>(Beépítési vázlat a 3. ábrán látható) |

## 7. Mérési táblázatok

Állandó adatok:  $b =$  mmHgo  $t_0 =$  °C  $\sin\alpha =$   
 $\rho_{\text{viz}} = 1000$  kg/m<sup>3</sup>  $\rho_{\text{alkohol}} = 800$  kg/m<sup>3</sup>

| Ciklon üresjárás mérése |               |               |           |                |                |                |                |
|-------------------------|---------------|---------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| mérés szám              | Ciklon        |               | Mérőperem | Mérőperem      |                | Ciklon         |                |
|                         | $h_{cb}$ [mm] | $h_{cj}$ [mm] | $l$ [mm]  | $h_{p1b}$ [mm] | $h_{p1j}$ [mm] | $h_{c1b}$ [mm] | $h_{c1j}$ [mm] |
| 1                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 2                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 3                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 4                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 5                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 6                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 7                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 8                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 9                       |               |               |           |                |                |                |                |
| 10                      |               |               |           |                |                |                |                |
| 11                      |               |               |           |                |                |                |                |
| 12                      |               |               |           |                |                |                |                |
| 13                      |               |               |           |                |                |                |                |
| 14                      |               |               |           |                |                |                |                |
| 15                      |               |               |           |                |                |                |                |



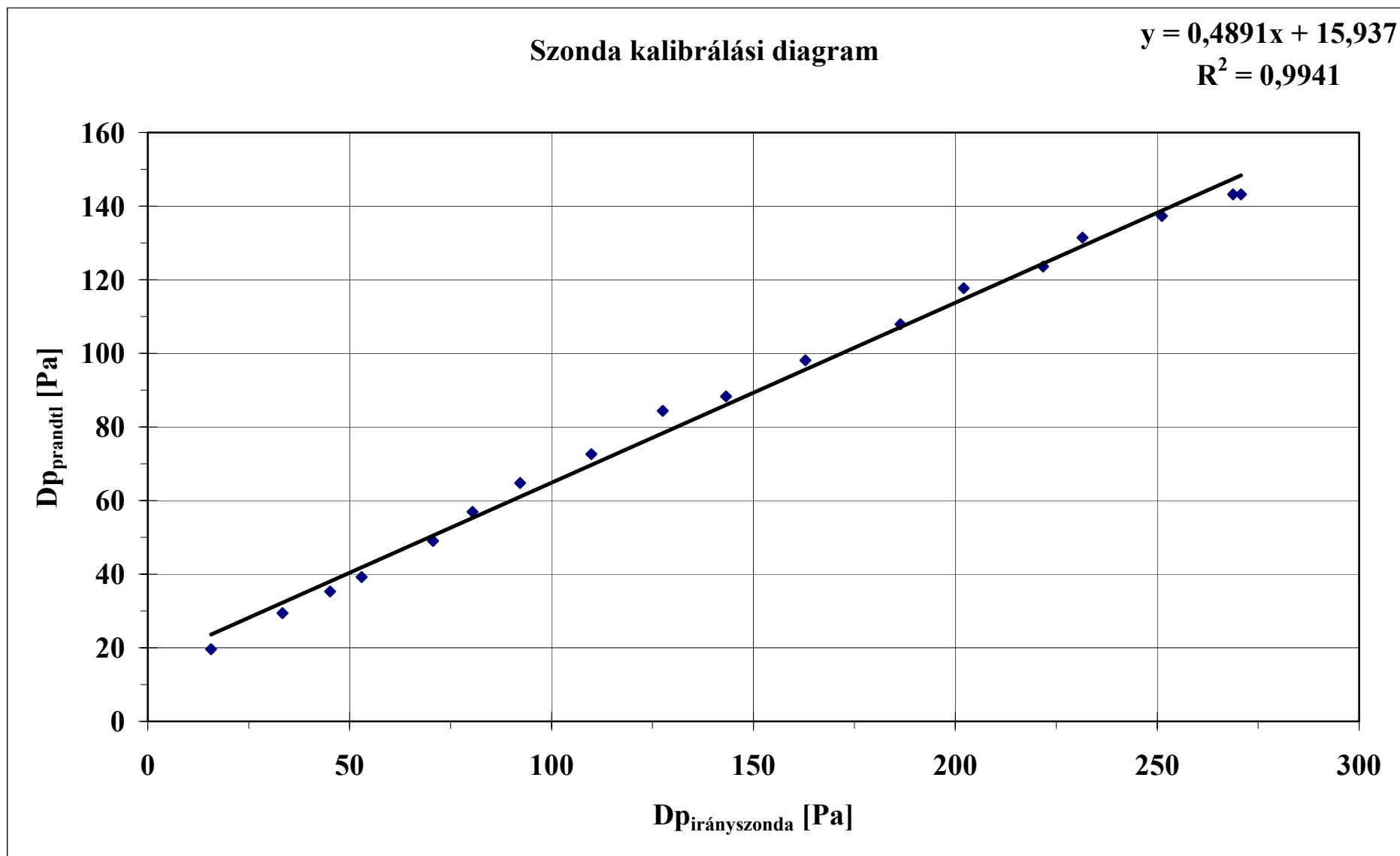
| Ciklon anyagszállítási mérése |               |               |           |                |                |                |                |
|-------------------------------|---------------|---------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                               | Ciklon        |               | Mérőperem | Mérőperem      |                | Ciklon         |                |
| mérés szám                    | $h_{cb}$ [mm] | $h_{cj}$ [mm] | $l$ [mm]  | $h_{p1b}$ [mm] | $h_{p1j}$ [mm] | $h_{c1b}$ [mm] | $h_{c1j}$ [mm] |
| 1                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 2                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 3                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 4                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 5                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 6                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 7                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 8                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 9                             |               |               |           |                |                |                |                |
| 10                            |               |               |           |                |                |                |                |
| 11                            |               |               |           |                |                |                |                |
| 12                            |               |               |           |                |                |                |                |
| 13                            |               |               |           |                |                |                |                |
| 14                            |               |               |           |                |                |                |                |
| 15                            |               |               |           |                |                |                |                |

Állandó adatok:     $b =$                       mmHg<sub>o</sub>                       $t_0 =$                       °C                       $\sin\alpha =$   
                                   $\rho_{\text{víz}} = 1000$                       kg/m<sup>3</sup>                       $\rho_{\text{alkohol}} = 800$  kg/m<sup>3</sup>

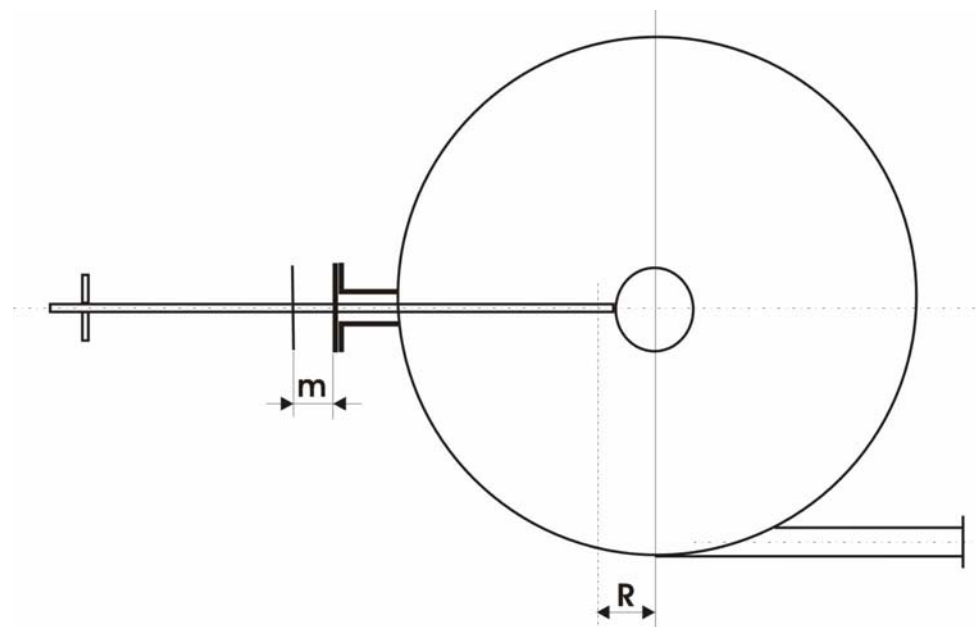
| Sebességeloszlás mérése |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Mérés száma             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Távolság [mm]           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| l [mm]                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

Állandó adatok:     $b =$                       mmHg<sub>o</sub>                       $t_0 =$                       °C                       $\sin\alpha =$   
                                   $\rho_{\text{víz}} = 1000$     kg/m<sup>3</sup>                       $\rho_{\text{alkohol}} = 800$  kg/m<sup>3</sup>





2. ábra



3. ábra