

Budapesti M szaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Áramlástan Tanszék

Mérés előkészítő óra I.

Balczó Márton *balczo@ara.bme.hu*

Istók Balázs *lohasz@ara.bme.hu*

Lohász Máté Márton *lohasz@ara.bme.hu*

Nagy László *nagy@ara.bme.hu*

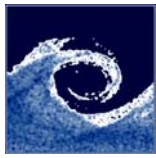
Dr. Rékert Tamás *regert@ara.bme.hu*

Suda Jenő Miklós *suda@ara.bme.hu*

Dr. Szabó K. Gábor *szabog@ara.bme.hu*

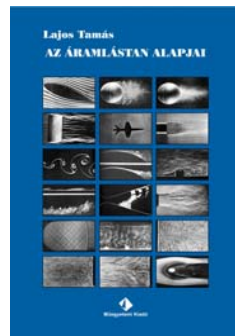
Szente Viktor *szente@ara.bme.hu*

2009.

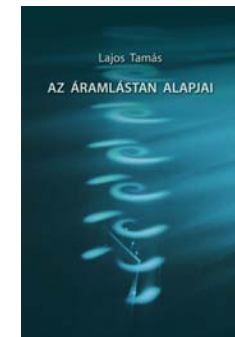


Általános ismertetés

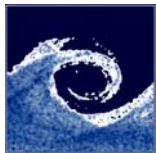
- A tanszéki weblap: www.ara.bme.hu
- A hallgatói információcsere: www.ara.bme.hu/poseidon
(segédanyagok, zh pontszámok, jk és prezentáció pontok, ...)
- A honlapon lehet átjelentkezni egy másik mérés laborkurzusra. **MINDENKI** ellen rizza a nevét, hogy ott van-e! **2. oktatási hét végéig.**
- **Menetrend:** 2 el készít óra + 3 mérési alk. (A, B, C), + 2 prezentáció
1. prezentáció alkalom: az A mérés és a B mérés fele tart el adást,
2. prezentáció alkalom: a B mérés második fele és a C mérés.
- A jegyz könyv leadása a mérés után legfeljebb 1 hét. Az oktató 2 nap alatt átnézi. Utána a hallgatók a **személyes konzultáción** megbeszélik a lehetséges hibákat, javasolt változtatásokat.
- Lajos T.: Az áramlástan alapjai (6. fejezet)
- ...



2004

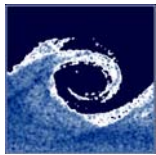


2009



A nyomás mérése

- U csöves manométer
- Betz-rendszer manométer
- Ferdecsöves mikromanométer
- Görbecsöves mikromanométer
- EMB-001 digitális kézi nyomásmérő műszer



A nyomás mérése / U-csöves mikromanométer I.

- Cs áramlás
- Pillangószelep
- Körvezetéken átlagoljuk a nyomást

A manométer egyensúly egyenlete:

$$p_B = p_J$$

$$p_1 + \rho_{ny} gH = p_2 + \rho_{ny} g(H - \Delta h) + \rho_m g \Delta h$$

$$p_1 - p_2 = (\rho_m - \rho_{ny}) g \Delta h$$

$$\rho_{ny} \ll \rho_m$$

(pl. leveg közeg – víz mér folyadék)

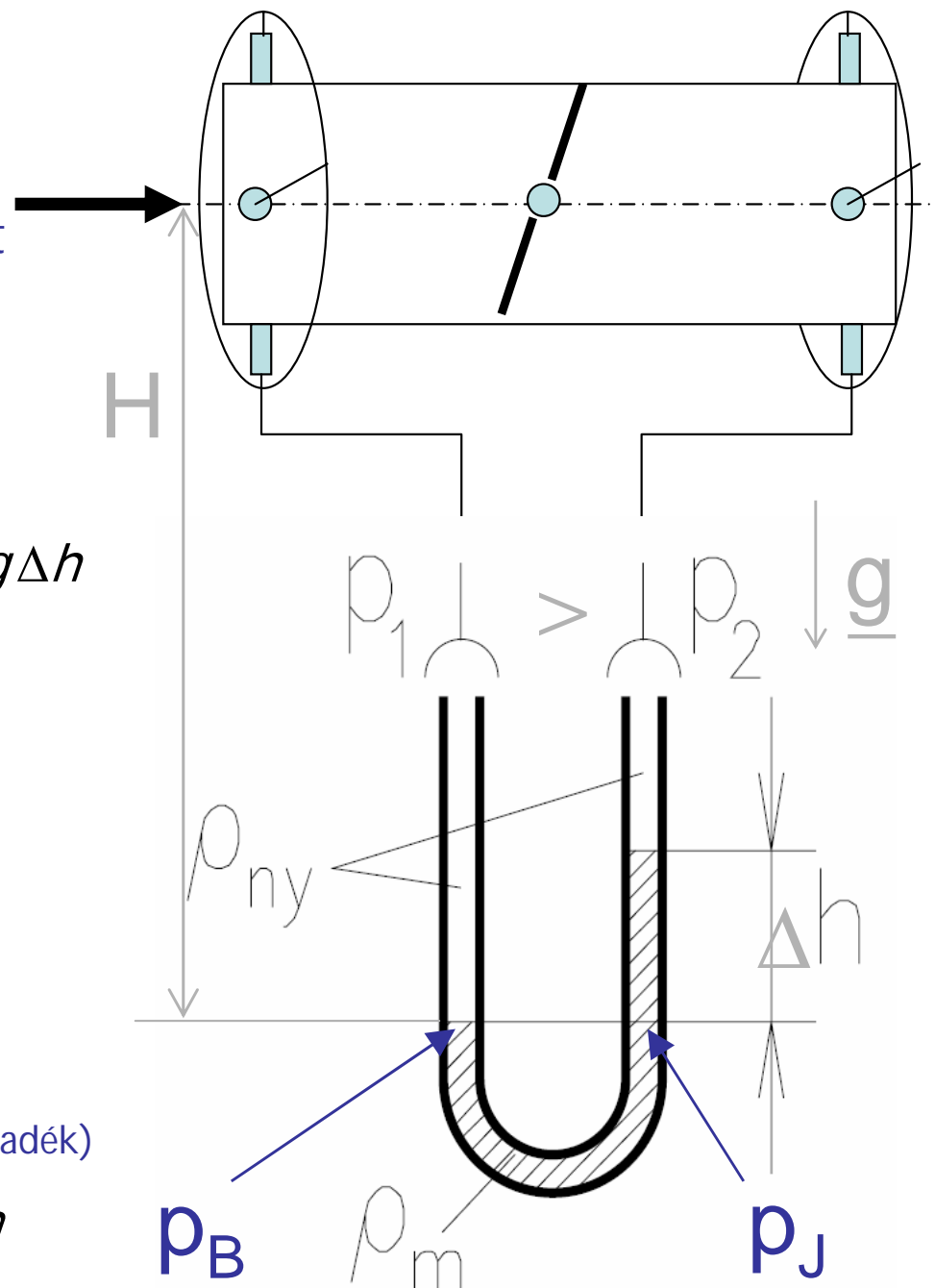
$$\Delta p = \rho_m g \Delta h$$

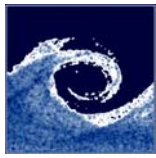
Egyébként

(pl. víz közeg – higany mér folyadék)

$$\Delta p = (\rho_m - \rho_{ny}) g \Delta h$$

Vegyük észre, hogy $\Delta p \neq f(H)$





A nyomás mérése / U-csöves mikromanométer II.

A manométer egyensúly egyenlete

$$\Delta p = (\rho_m - \rho_{ny})g\Delta h$$

A mérő folyadékok sűrűsége ρ_{mf} (irányszámok)

$$\rho_{\text{higany}} \approx 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{víz}} \approx 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{alkohol}} \approx 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

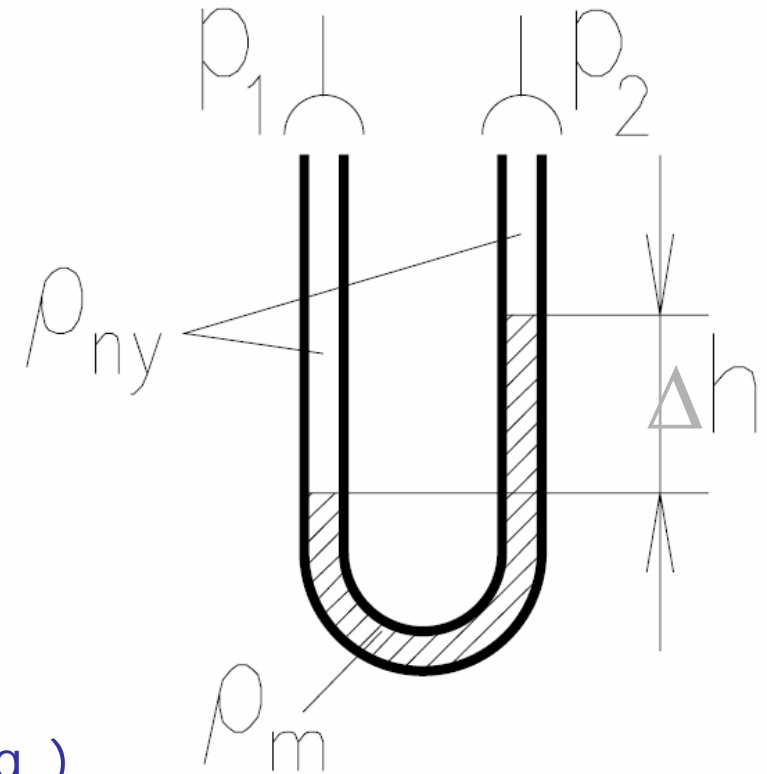
A nyomásközvetítő közeg sűrűsége: ρ_{ny} (pl. levegő)

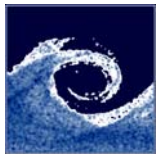
$$\rho_{\text{levegő}} = \frac{\rho_{\text{levegő}}}{RT_{\text{levegő}}} = 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$\rho_{\text{levegő}}$ - légtörési nyomás [Pa] $\sim 10^5 \text{Pa}$

R - a levegő specifikus gázállandója $287 [\text{J/kg/K}]$

T - légtörési hőmérséklet [K] $\sim 293\text{K} = 20^\circ\text{C}$





A nyomás mérése / U-csöves mikromanométer III.

Pl. a leolvasott érték: $\Delta h = 10\text{mm}$

A pontossága $\sim 1\text{mm}$: Az abszolút hibája:

$$\Delta\delta h = \pm 1\text{mm}$$

A helyes érték felírása az abszolút hibával(!)

$$\Delta h = 10\text{mm} \pm 1\text{mm}$$

A relatív hibája:

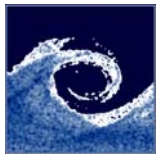
$$\frac{\delta\Delta h}{\Delta h} = \frac{1\text{mm}}{10\text{mm}} = 0,1 = 10\%$$

Hátrányai:

- Leolvasási hiba (kétszer olvassuk le)
- Pontossága $\sim 1\text{mm}$
- Kis nyomáskülönbségeknél nagy a relatív hiba

El nye:

- Megbízható
- Nem igényel karbantartást

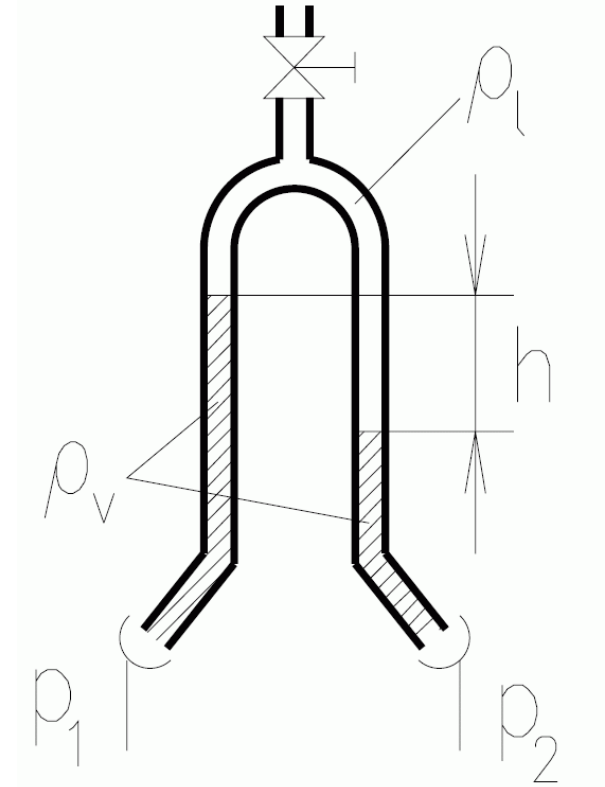


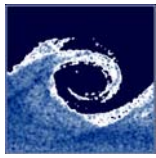
A nyomás mérése / fordított U-csöves mikromanométer II.

A manométer egyensúly egyenlete

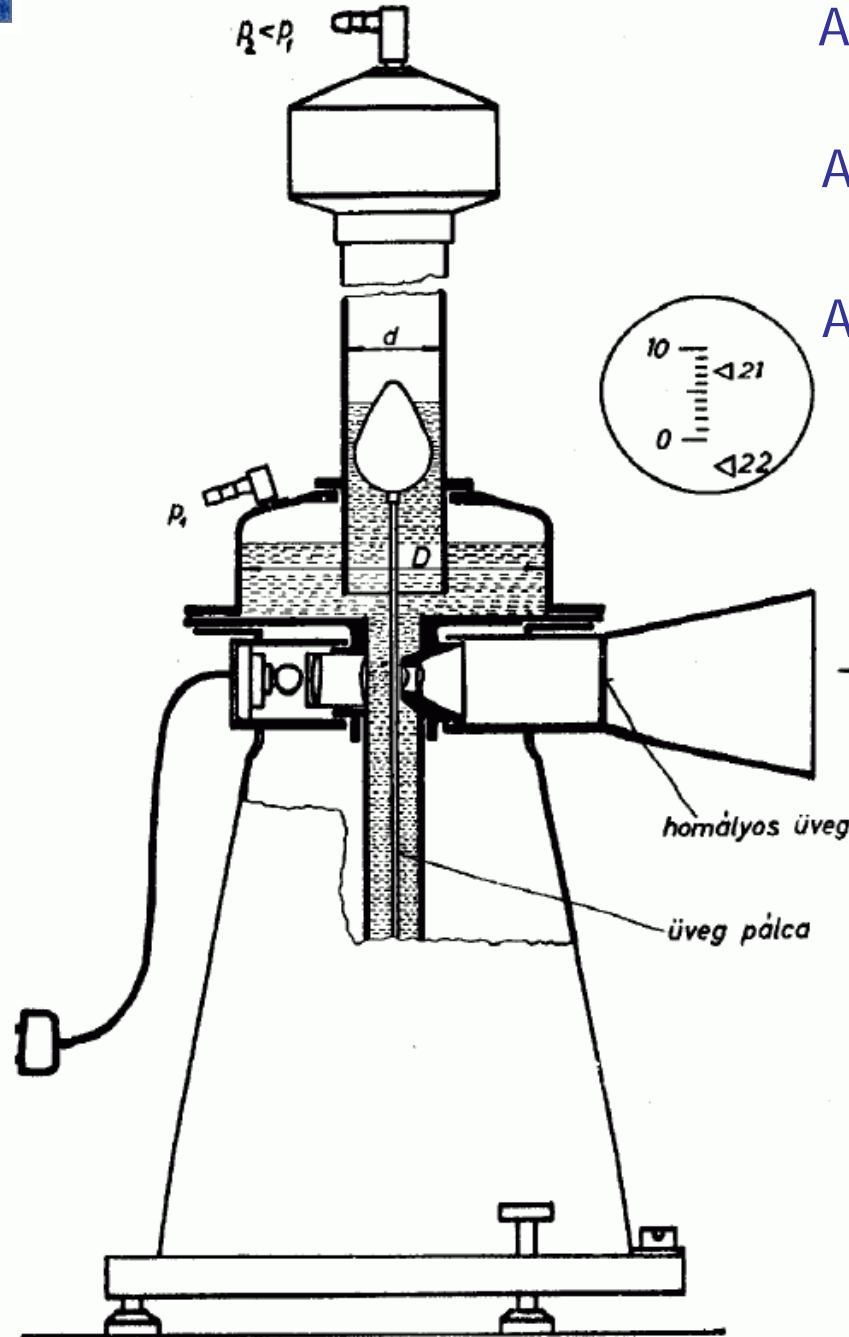
$$p_1 - p_2 = (\rho_v - \rho_l) g h$$

Mivel általában folyadékkal (pl. víz) töltött vezetékben mérjük a nyomáskülönbséget fordított U-csöves mikromanométerrel, így ha a „mér folyadék” ebben az esetben pl. levegő, akkor a sűrűségviszony (1.2/1000) miatt a $-\rho_l$ elhagyható.





A nyomás mérése / Betz-rendszerű mikromanométer

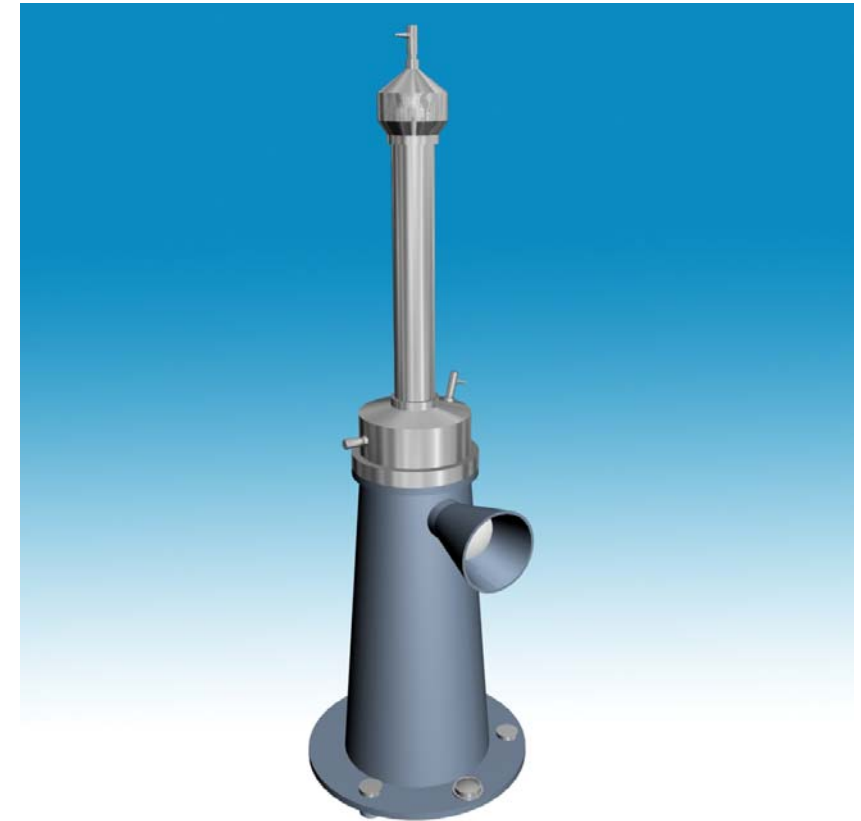


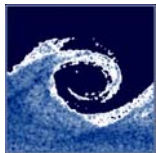
A relatív hiba csökkentése optikai eszközökkel, így a pontosság növelhető.

A pontossága $\sim 0,1\text{mm}$: Az abszolút hibája:

$$\Delta h = 10\text{mm} \pm 0,1\text{mm}$$

A relatív hibája: $\frac{\delta\Delta h}{\Delta h} = \frac{0,1\text{mm}}{10\text{mm}} = 0,01 = 1\%$





A nyomás mérése / ferdecsöves mikromanométer

A manométer egyensúly egyenlete

$$p_1 - p_2 = \rho_m g \Delta h$$

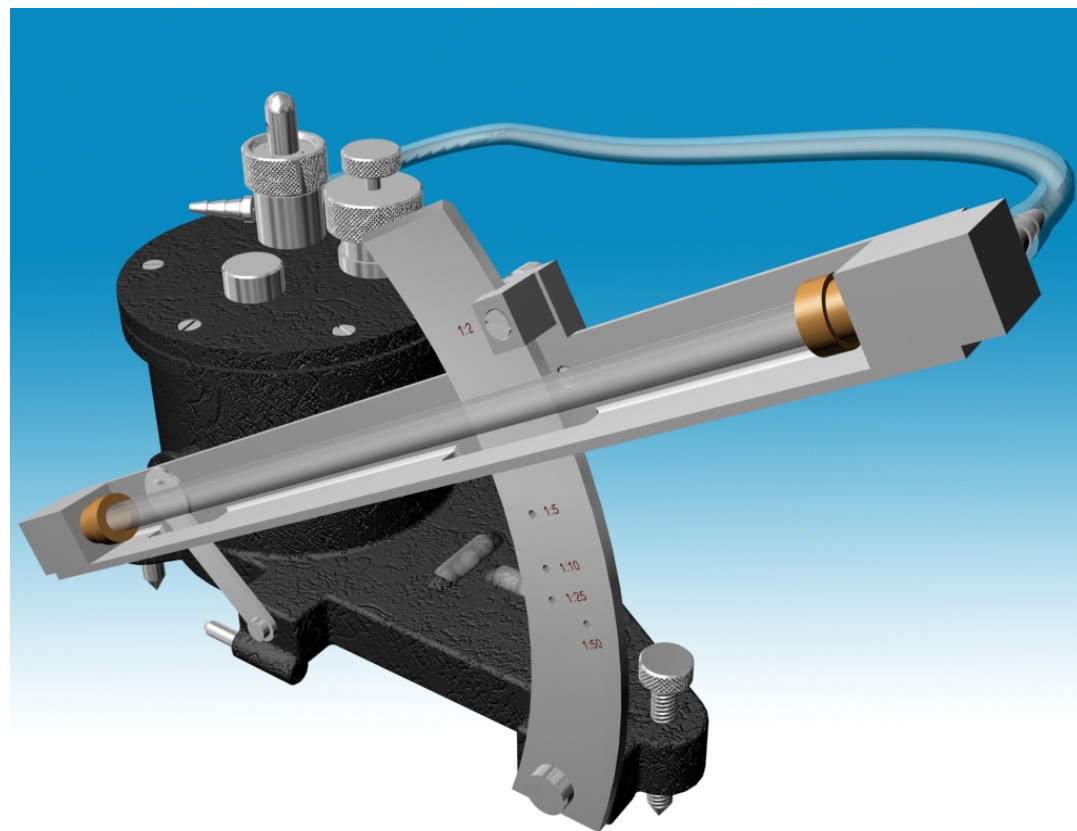
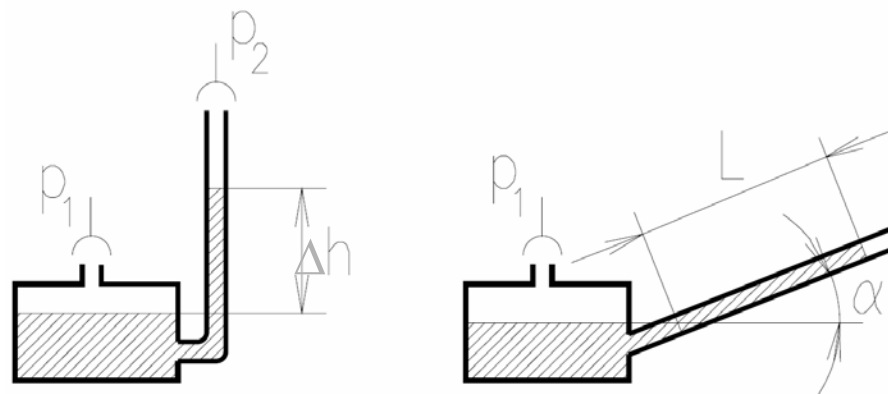
$$\Delta h = L \sin \alpha$$

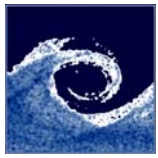
Pontosság: $\delta L \sim 1\text{mm}$,

Relatív hiba:

$$\frac{\delta L}{L} = \frac{\delta L}{\frac{\Delta h}{\sin \alpha}} = \frac{1\text{mm}}{\frac{10\text{mm}}{\sin 30^\circ}} = 0,05 = 5\%$$

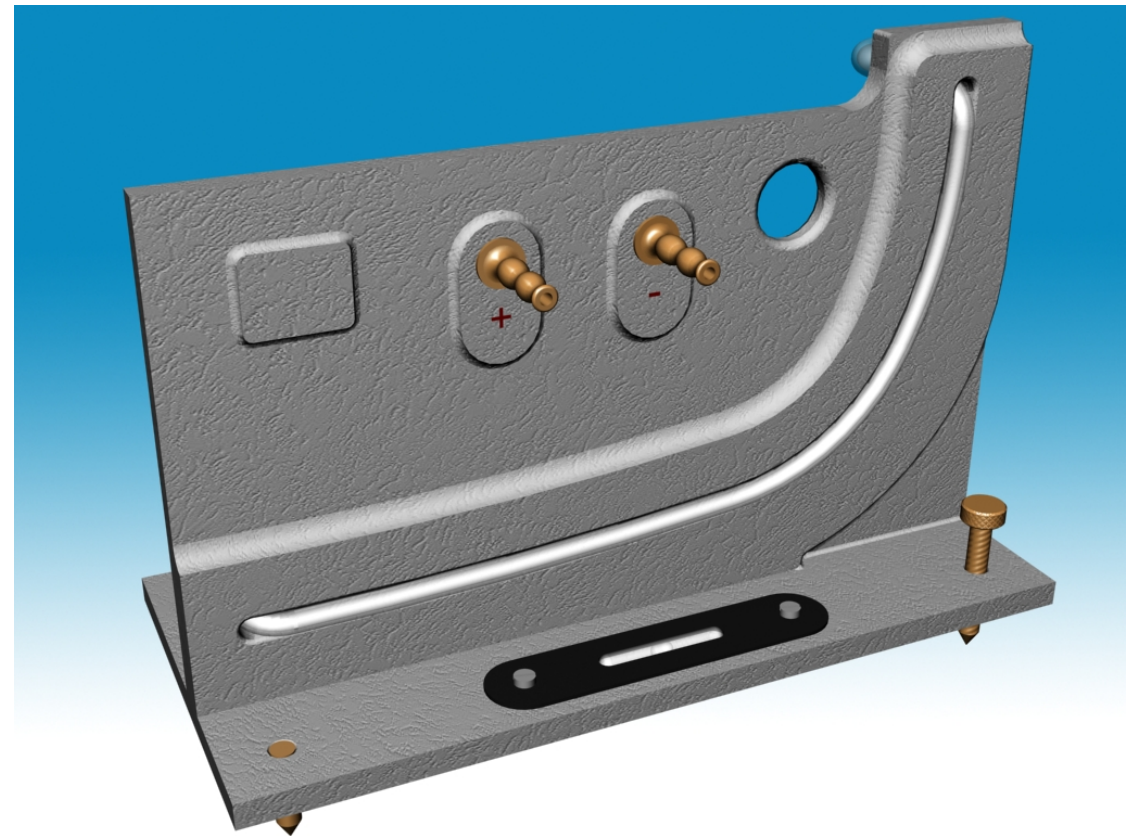
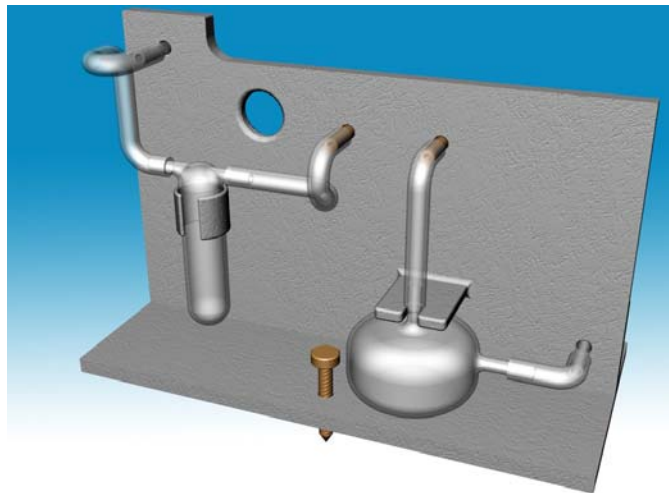
Döntési szög függ - $f(\alpha)$ -
változó relatív hiba jellemzi.

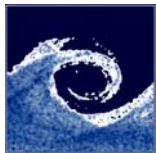




A nyomás mérése / görbecsöves mikromanométer

Állandó relatív hiba és nem lineáris skála jellemzi.





A nyomás mérése / EMB-001 digitális nyomásmérő

Mérés során használandó gombok listája

Be/kikapcsolása

Zöld gombbal

Gyári kalibráció visszaállítása

„0” majd a „STR Nr” (javasolt)

Mérési csatornák váltása

„CH I/II”

0 Pa beállítása

„0 Pa”

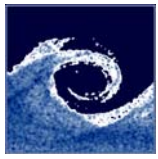
Átlagolási idő váltása (1/3/15s)

„Fast/Slow” (F/M/S)

A mérési tartomány: $\Delta p = \pm 1250 Pa$

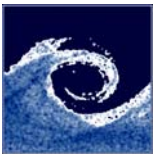
A mérési hiba: $\delta \Delta p = 2 Pa$





Sebességmérés

- Pitot-cs
- Prandtl-cs



Sebességmérés / Pitot-cső

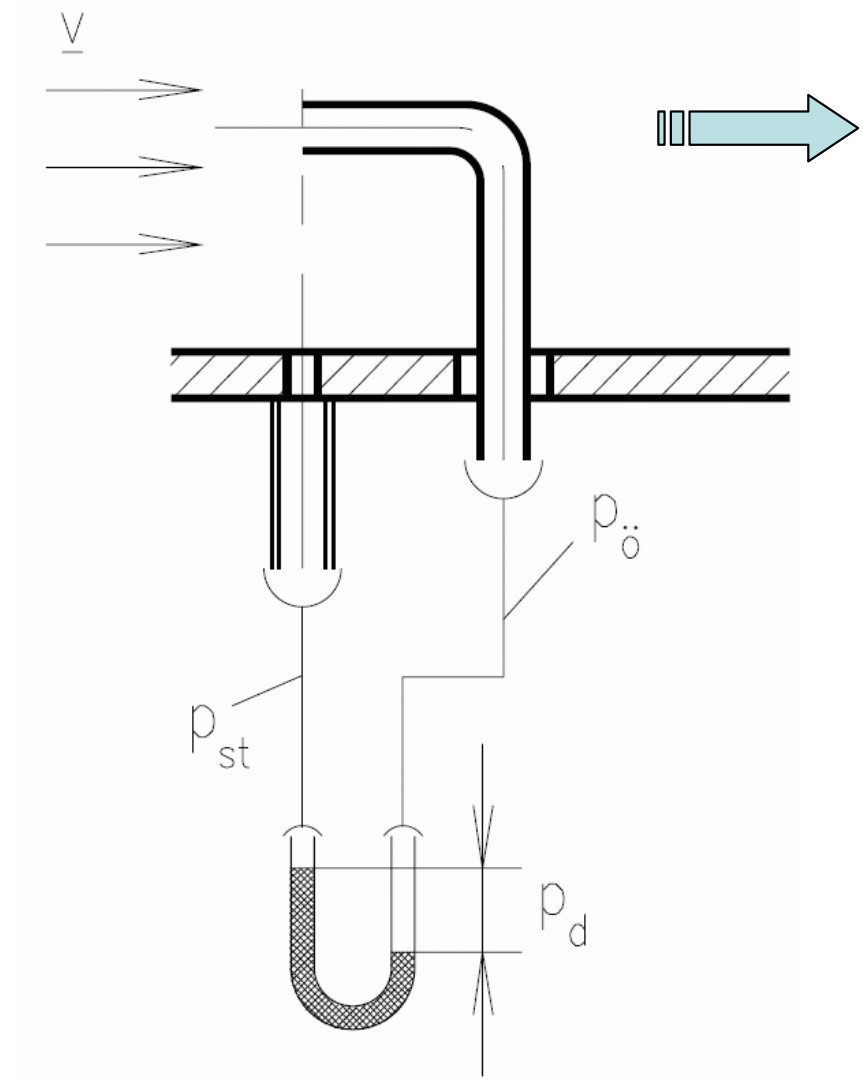
Pitot, Henri (1695-1771), francia mérnök.

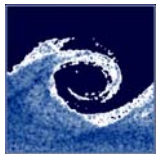
A dinamikus nyomás meghatározása:

$$p_d = p_{\ddot{o}} - p_{st} = \frac{\rho}{2} v^2$$

A sebesség meghatározása:

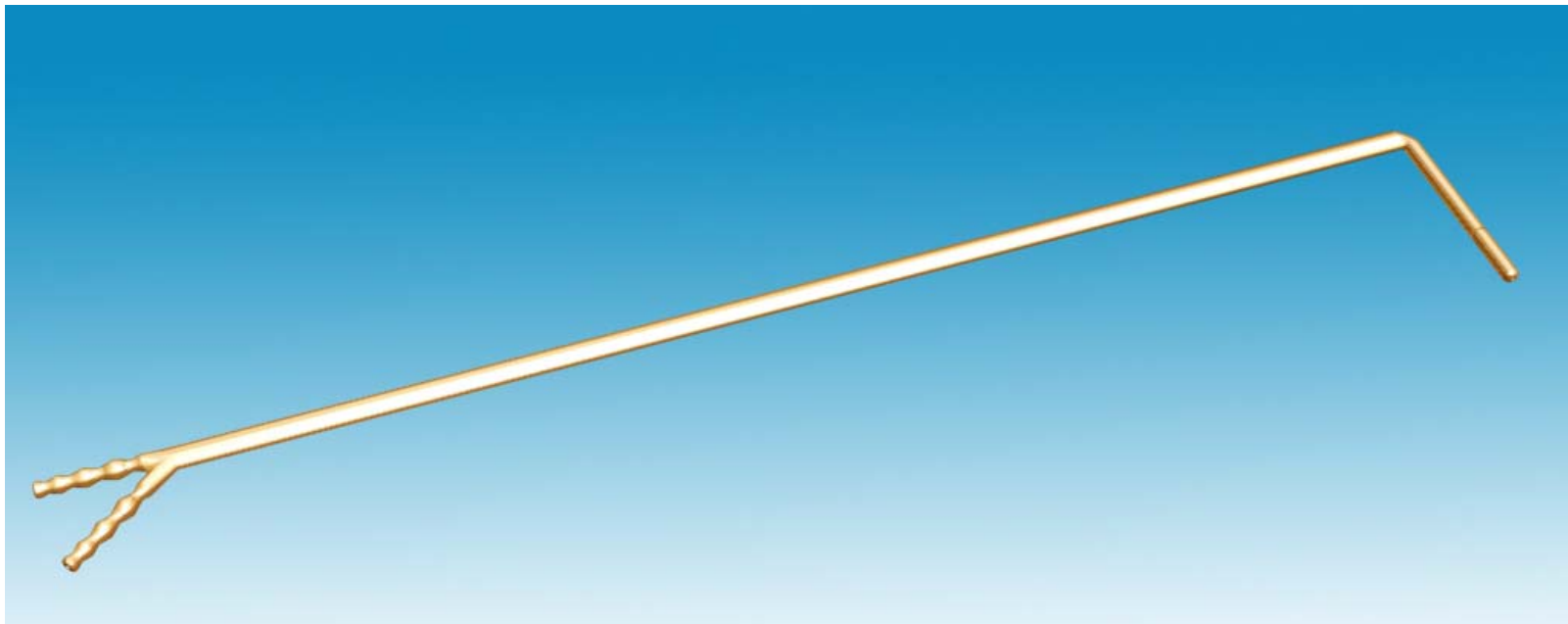
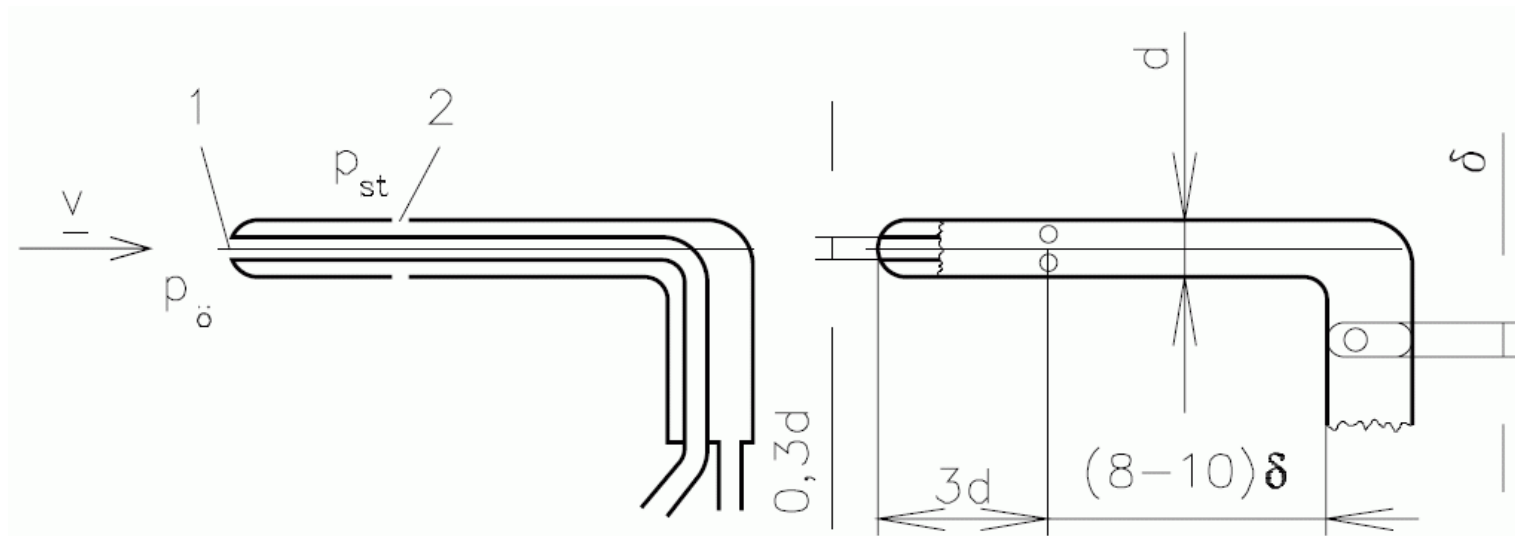
$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} p_d} = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

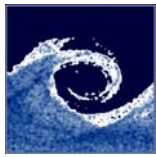




Sebességmérés / Prandtl -cső

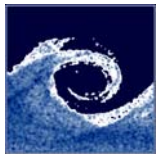
Prandtl, Ludwig von (1875-1953), német áramlástani kutató.





Térfogatáram-mérés

- Térfogatáram definíció
- Pontonkénti sebességmérésen alapuló módszer
 - Nem kör keresztmetszetű vezeték
 - Kör keresztmetszetű vezeték
 - 10-pont módszer
 - 6-pont módszer
- Széles keresztmetszetű elemes módszer
 - Venturi-cső (vízszintes/ferde tengely)
 - Átfolyó mérőperem (átfolyási szám, iteráció)
 - Beszívó mérőperem
 - Beszívó tölcser



Több mért sebességből átlagsebesség számítás

Nagyon fontos, hogy: átlagok gyöke gyökök átlaga (!)

Pl. Ha több pontban mérjük a dinamikus nyomást, majd abból sebességet kívánunk számolni...

$$v_i = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_i}$$

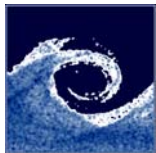
$$v_1 = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_1}$$

1.	2.
3.	4.

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} = \frac{\sqrt{\frac{2\Delta p_1}{\rho}} + \sqrt{\frac{2\Delta p_2}{\rho}} + \sqrt{\frac{2\Delta p_3}{\rho}} + \sqrt{\frac{2\Delta p_4}{\rho}}}{4} \neq \sqrt{\frac{2 \left(\frac{\Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4}{4} \right)}{\rho}}$$

HELYES
átlagolás

HELYTELEN
átlagolás

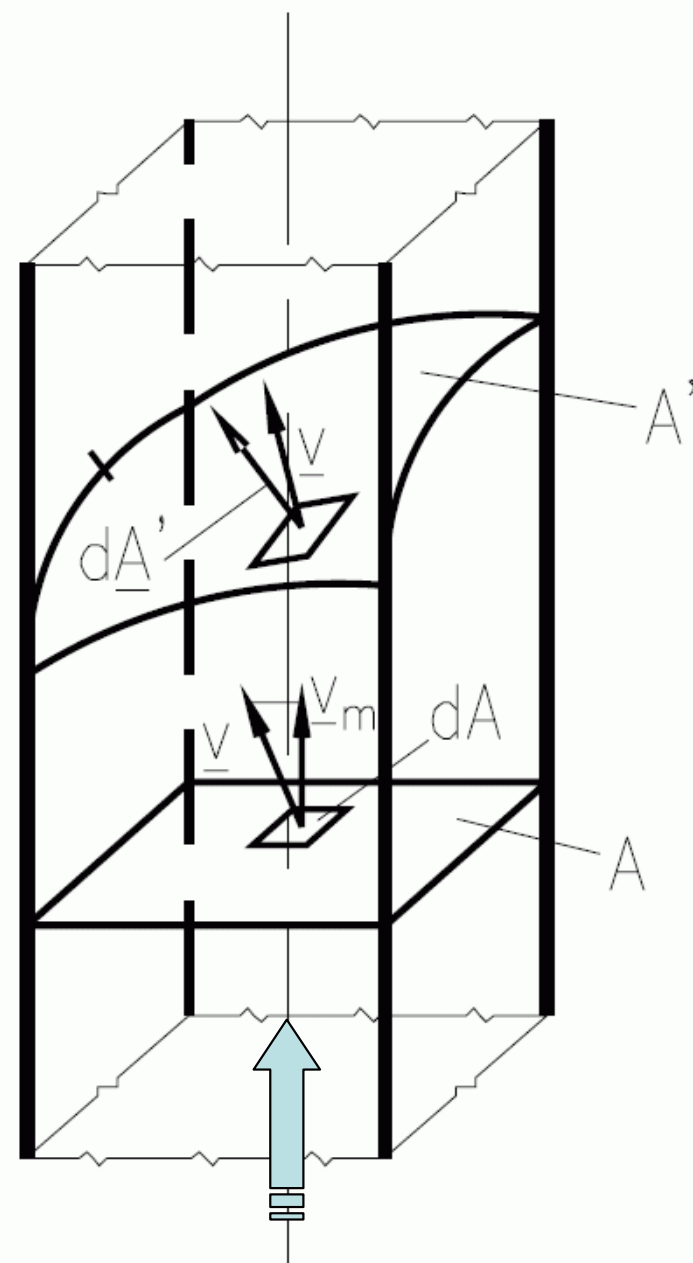
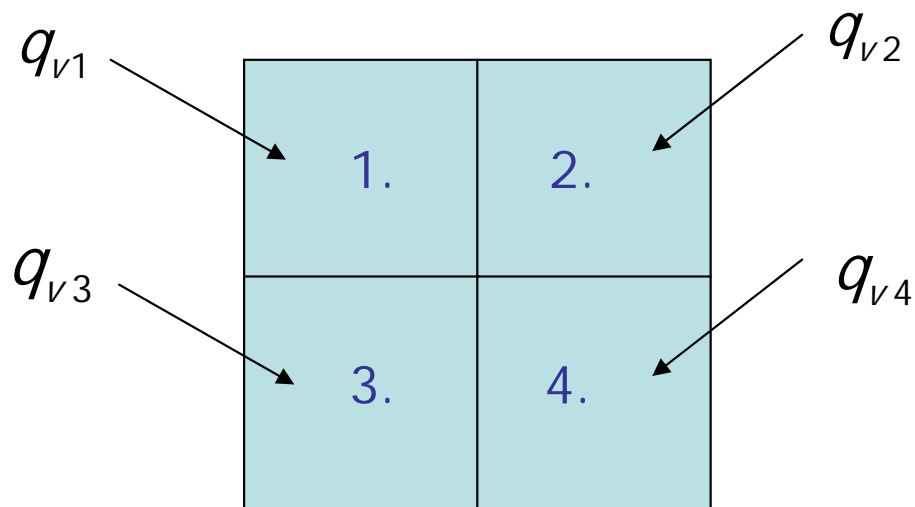


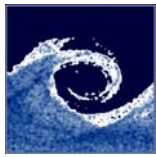
Térfogatáram-mérés / sebességmérésen alapuló Nem kör keresztmetszetű vezeték

$$q_v = \int_A \underline{v} dA = \sum_{i=1}^4 q_{v,i} \approx \sum_{i=1}^n v_{m,i} \Delta A_i =$$
$$\frac{v_{m,1} A + v_{m,2} A + v_{m,3} A + v_{m,4} A}{4} = A \bar{v}$$

Feltéve, hogy:

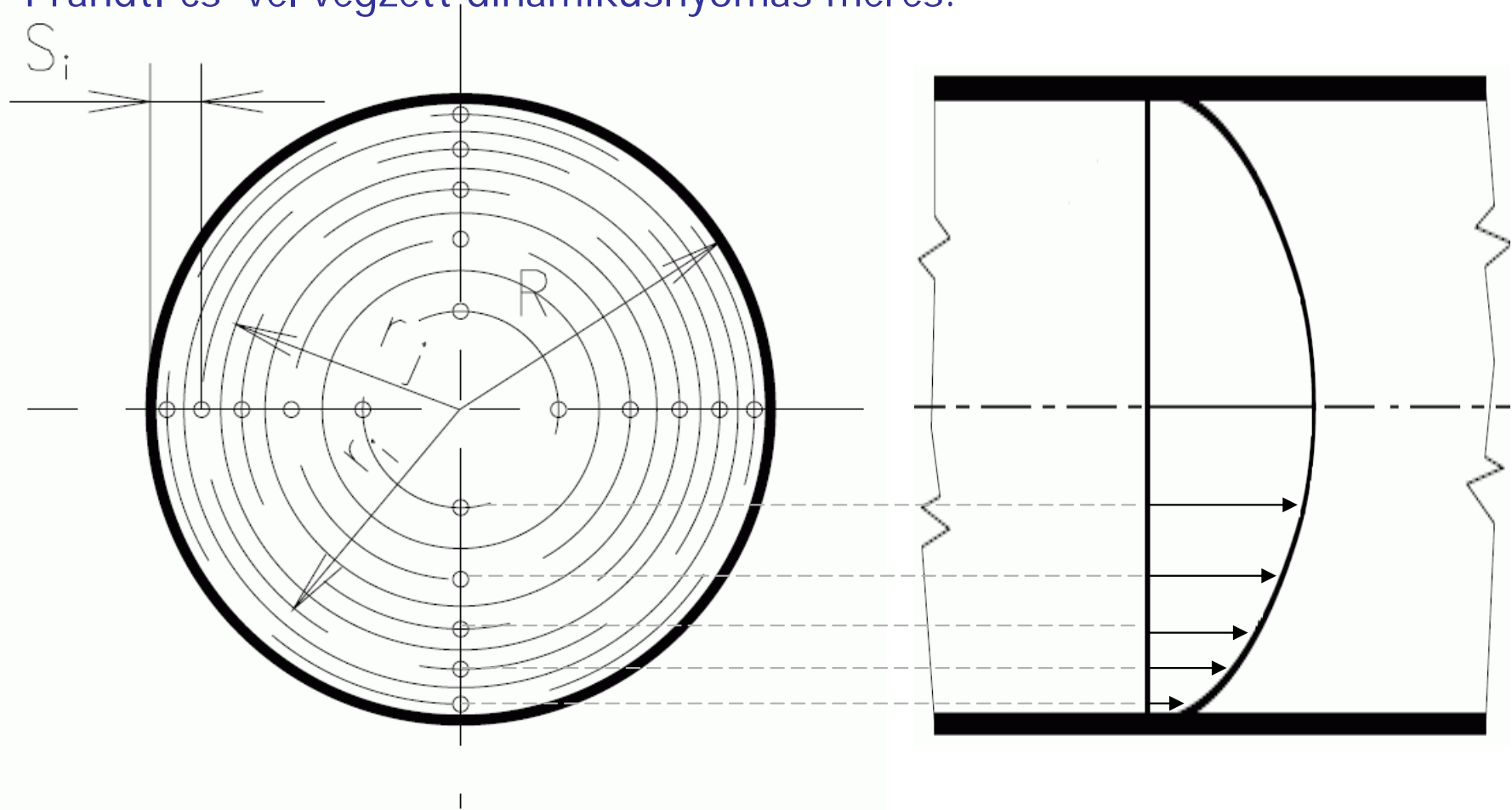
$$\Delta A_1 = \Delta A_2 = \dots = \text{áll.} = \Delta A_i = \frac{A}{n}$$



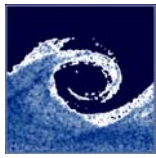


Térfogatáram-mérés / sebességmérésen alapuló I. **Kör keresztmetszetű vezeték, 10pont (6pont) módszer**

- A sebességprofil feltételezhetően másodfokú parabola.
- Állandó üzemállapot
- Prandtl-cs vel végzett dinamikusnyomás mérés.



$$S_i/D = 0.026, 0.082, 0.146, 0.226, 0.342, 0.658, 0.774, 0.854, 0.918, 0.974$$



Térfogatáram-mérés / sebességmérésen alapuló II. Kör keresztmetszetű vezeték, 10pont (6pont) módszer

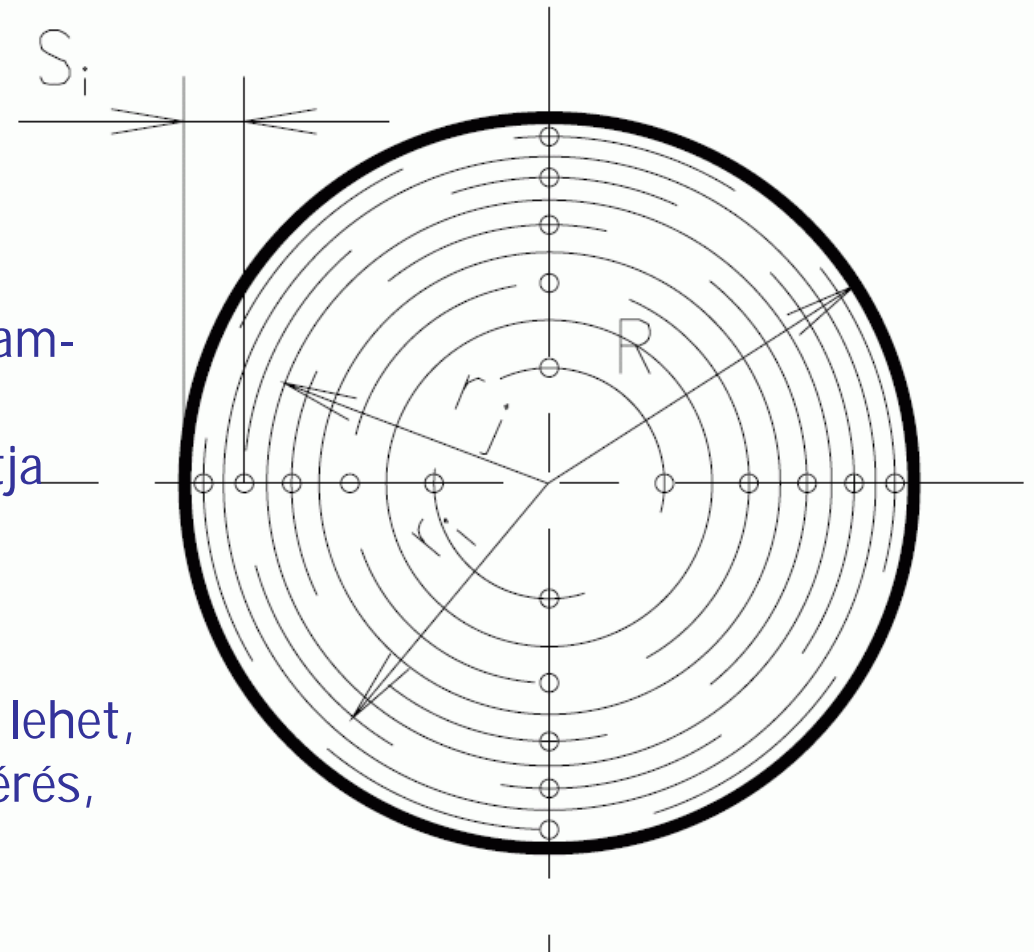
$$\bar{v} = \frac{\frac{V_1 + V_{10}}{2} + \frac{V_2 + V_9}{2} + \frac{V_3 + V_8}{2} + \frac{V_4 + V_7}{2} + \frac{V_5 + V_6}{2}}{5}$$

Feltéve, hogy:

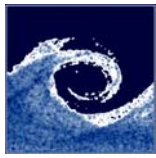
$$A_1 = A_2 = \dots = \text{áll.} = \frac{A}{5}$$

A sebességmérésen alapuló térfogatáram-mérés elnye a sz kít elemmel való méréssel szemben, hogy nem változtatja meg a mért berendezés üzemállapotát, illetve hogy a mérés egyszer .

Hátránya, hogy a hiba viszonylag nagy lehet, a sz kít elemeshez képest. Hosszú mérés, biztosítani az állandó üzemállapotot.
(10pont x 1,5perc = 15 perc)



$$S_i/D = 0.026, 0.082, 0.146, 0.226, 0.342, 0.658, 0.774, 0.854, 0.918, 0.974$$



Térfogatáram-mérés / szűkítőelemes módszer

Venturi-cső

$$q_m = \rho v A \quad [q_m] = \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \text{áll.}$$

$$q_v = v A \quad [q_v] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \text{áll.}$$

$$q_v = v_1 A_1 = v_2 A_2$$

↑ ↓

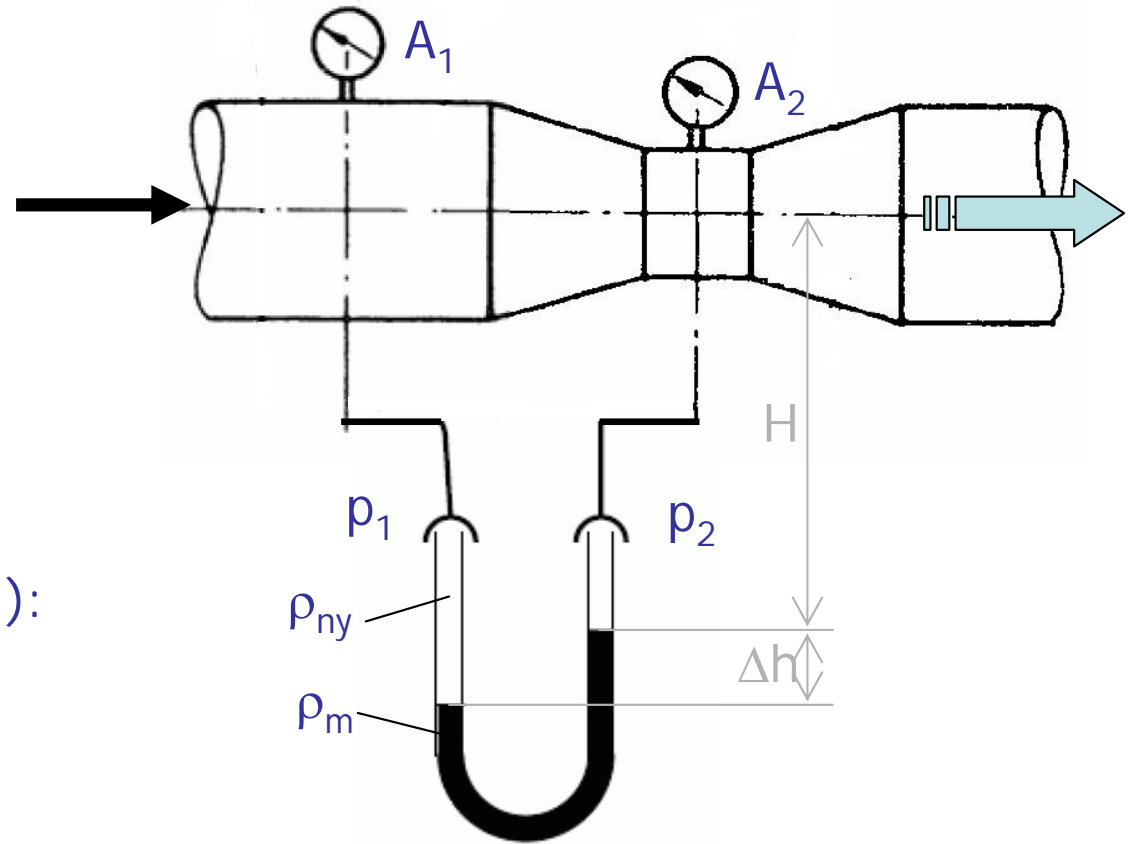
$$A_1 > A_2 \longrightarrow v_1 < v_2$$

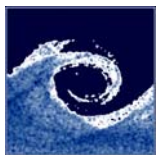
Bernoulli-egyenlet ($\rho = \text{áll.}$, $U = \text{áll.}$):

$$\rho_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = \rho_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2$$

$$\Delta A \rightarrow \Delta p$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(\rho_m - \rho_{ny})g\Delta h}{\rho_{ny} \left(\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right)}} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ny} \left(\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right)}}$$





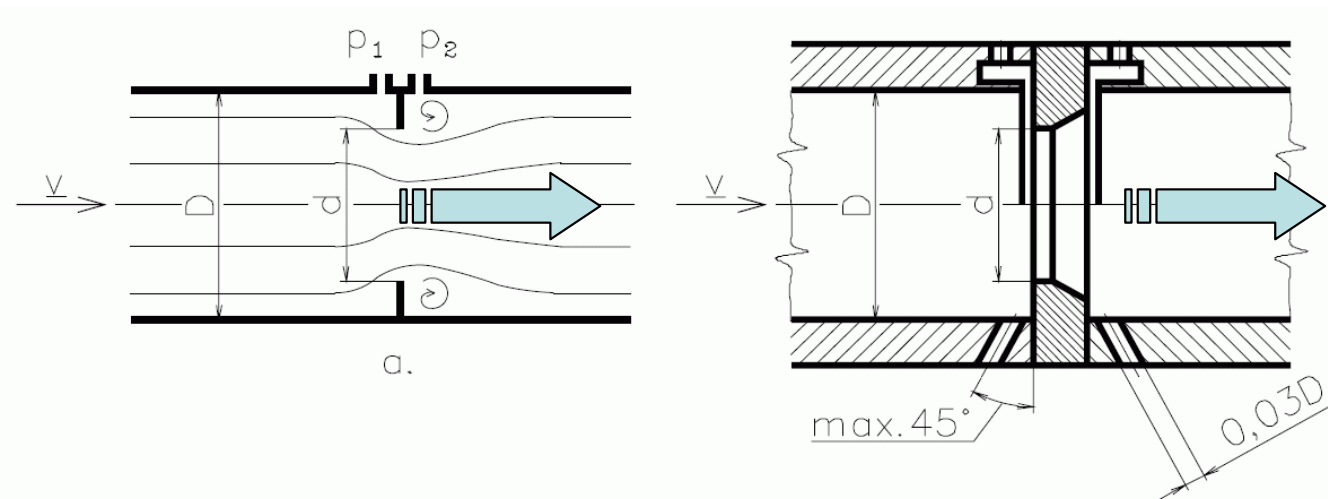
Térfogatáram-mérés / szűkítőelemes módszer

Átfolyó mérőperem

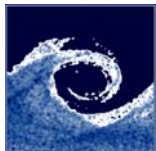
Szabványos szűkítés - nyomáskülönbség

$$q_v = vA$$

$$q_v = \alpha \varepsilon \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$



- $\beta = d/D$ átmérő viszony,
 d [m] legszűk keresztmetszet átmérője
 D [m] a szűkítést megelőző cső átmérője
 $Re_D = vD/\nu$ a **Reynolds-szám** (alapképlet)
 v [m/s] átlagsebesség a D átmérőjű csőben
 ν [m²/s] kinematikai viszkozitás
 p_1 [Pa] szűkítőelem előtt mért nyomás
 p_2 [Pa] szűkítőelemben vagy utána mért nyomás
 ε kompresszibilitási tényező ($\varepsilon = \varepsilon(\beta, \tau, \kappa) \sim 1$ a levegő esetén, a nyomásváltozás csekély)
 α átfolyási szám, $\alpha = (\beta, Re_D)$ (szabványos kialakítás!)
 κ izentrópus kitevő
 $\tau = p_2/p_1$ nyomásviszony

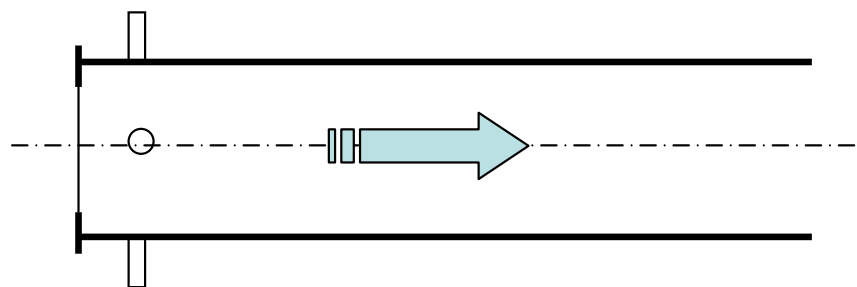


Térfogatáram-mérés / szűkítőelemes módszer **Beszívó mérőperem (nem szabványos)**

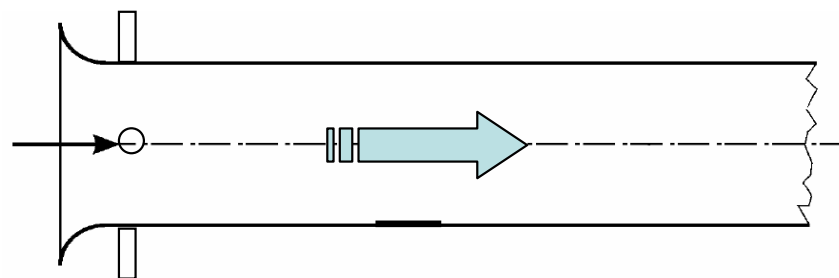
Nem szabványos szűkítés - nyomáskülönbség

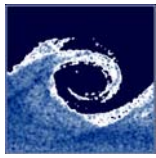
$$q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{d_{mp}^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_{mp}}{\rho}}$$

$$\alpha = 0,6$$



$$q_v = k \cdot \frac{d_{besz}^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_{besz}}{\rho}}$$





A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) I.

Pl. a térfogatáram bizonytalansága

Prandtl-cs. vel mért nyomások: A labor kondíciója:

$$p_1 = 486,2 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 604,8 \text{ Pa}$$

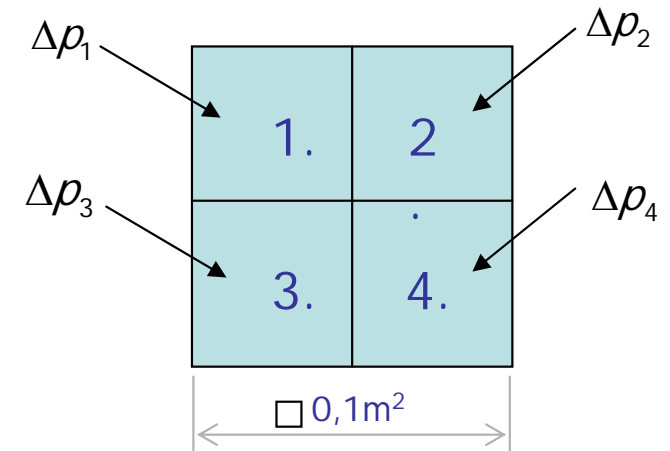
$$p_3 = 512,4 \text{ Pa}$$

$$p_4 = 672,0 \text{ Pa}$$

$$p = 1010 \text{ hPa}$$

$$T = 22^\circ\text{C} \text{ (293K)}$$

$$R = 287 \text{ J/kg/K}$$



$$v_i = \sqrt{\frac{2\Delta p_i}{\rho}} \quad \rho = \frac{p}{RT}$$

$$q_v = \sum_{i=1}^4 v_i \Delta A_i = A_1 \sqrt{\frac{2\Delta p_1 RT}{p}} + A_2 \sqrt{\frac{2\Delta p_2 RT}{p}} + A_3 \sqrt{\frac{2\Delta p_3 RT}{p}} + A_4 \sqrt{\frac{2\Delta p_4 RT}{p}}$$

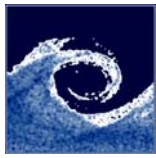
$$q_v = \sqrt{2R} \sqrt{T} \frac{1}{\sqrt{p}} \left(\sqrt{A_1 \Delta p_1 + A_2 \Delta p_2 + A_3 \Delta p_3 + A_4 \Delta p_4} \right) \longrightarrow q_v = 0,3082 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$q_v = f(T, p, \Delta p, \text{állandók})$$

A légköri nyomás mérési hibája a leolvasási hibája $\delta p = 100 \text{ Pa}$

A labor h. mérsékletének mérési hibája, $\delta T = 1 \text{ K}$

A Prandtl-csöves nyomásmérés hibája (EMB-001) $\delta \Delta p = 2 \text{ Pa}$



A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) II.

Pl. a térfogatáram bizonytalansága

Általánosan abszolút hiba

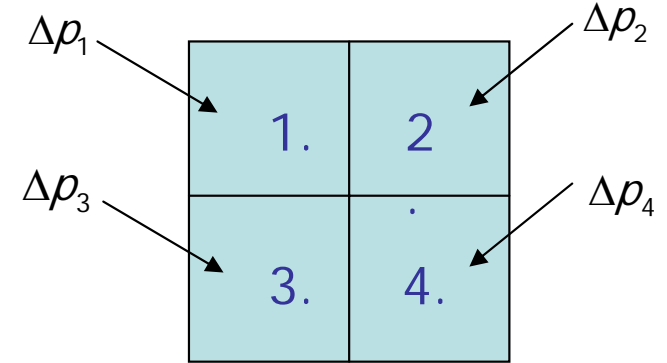
$$\delta R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \frac{\partial R}{\partial X_i} \right)^2}$$

$(\delta p, \delta T, \delta \Delta p)$

$$\frac{\partial q_v}{\partial p} = q_v \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{p}$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial T} = q_v \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{T}$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial (\Delta p_i)} = q_{v,i} \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{\Delta p_i}$$



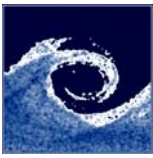
A térfogatáram abszolút hibája:

$$\delta q_v = \sqrt{\left[q_v \cdot \frac{\delta p}{p} \cdot \left(-\frac{1}{2} \right) \right]^2 + \left[q_v \cdot \frac{\delta T}{T} \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \right]^2 + \sum_{i=1}^4 \left[q_{v,i} \cdot \frac{\delta (\Delta p_i)}{\Delta p_i} \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \right]^2}$$

A térfogatáram relatív hibája:

$$\frac{\delta q_v}{q_v} = 0,001976 \cong 0,2\%$$

A térfogatáram számeredménye: $q_v = 0,3082 \pm 0,0616 \frac{m^3}{s}$



A honlapról letölthető anyagok

<http://www.ara.bme.hu>, Oktatás menü, Tantárgyak menü

Vagy

<http://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEAT3030/2009-2010-I/labor/>

http://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATAG01/MAGYAR_kepzes/2009-2010-I/labor/

<http://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATAE01/2009-2010-I/labor>

Vagy (az 5. héttől, amikor már megvan a mérés beosztás)

<http://www.ara.bme.hu/poseidon>

Anyagok:

- Mérésel készítő óra anyaga
(mereselokeszito_menetrend_mertekegyssegek.pdf)
- Hibaszámítási segédlet (hibaszamitas_meresekehez_2009.pdf,
ZH1 + Hibaszamitas_info.pdf)
- EMB-001 tip. digitális nyomásmérő leírása (EMB-001_Manual.pdf)
- Mérési segédletek: M01, M02, M03.....M13 (M?.doc, M?.pdf, M?.html)
- Mérési jegyzék könyv borítólappal, minta jegyzék könyv (mintameres_jk.doc)
- Mérési jegyzék könyv tartalmi / formai követelményei (mereskov.pdf)
- Számítási segédletek (alfa_qv.pdf, moody_diagram.pdf)
- PowerPoint prezentáció segédlet, minta (neptunkod.ppt)