

# Áramlástan Tanszék

[www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu)

## Mérés előkészítő óra I.



Farkas Balázs [farkas@ara.bme.hu](mailto:farkas@ara.bme.hu)

Összeállította:

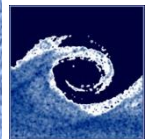
Nagy László [nagy@ara.bme.hu](mailto:nagy@ara.bme.hu)

A mérési adminisztráció felelőse:

Dr. Istók Balázs [istok@ara.bme.hu](mailto:istok@ara.bme.hu)

2015.  
Ősz

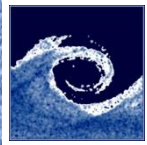
Áramlástan Tanszék H-1111 Bertalan Lajos u. 4-6. „AE” épület



## Mérések felelősei

---

M1	Füle Péter	<a href="mailto:fule@ara.bme.hu"><u>fule@ara.bme.hu</u></a>
M2	Dr. Kalmár-Nagy Tamás	<a href="mailto:kalmarnagy@gmail.com"><u>kalmarnagy@gmail.com</u></a>
M3	Dr. Istók Balázs	<a href="mailto:istok@ara.bme.hu"><u>istok@ara.bme.hu</u></a>
M4	Varga Árpád	<a href="mailto:varga@ara.bme.hu"><u>varga@ara.bme.hu</u></a>
M5 – M13	Tóth Bence	<a href="mailto:tothbence@ara.bme.hu"><u>tothbence@ara.bme.hu</u></a>
M7	Mikó Szandra	<a href="mailto:miko@ara.bme.hu"><u>miko@ara.bme.hu</u></a>
M8	Farkas Balázs	<a href="mailto:farkas@ara.bme.hu"><u>farkas@ara.bme.hu</u></a>
M9	Tomor András	<a href="mailto:tomor@ara.bme.hu"><u>tomor@ara.bme.hu</u></a>
M10	Nagy Márton	<a href="mailto:nagymarton@ara.bme.hu"><u>nagymarton@ara.bme.hu</u></a>
M11	Nagy László	<a href="mailto:nagy@ara.bme.hu"><u>nagy@ara.bme.hu</u></a>
M12	Benedek Tamás	<a href="mailto:benedek@ara.bme.hu"><u>benedek@ara.bme.hu</u></a>



## Általános ismertetés

---

- A tanszéki weblap:

[www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu)

- A tantárgy weblapja:

<http://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATAE01/>

- A hallgatói információcsere:

[www.ara.bme.hu/poseidon](http://www.ara.bme.hu/poseidon)

(segédanyagok, ZH pontok, jk. és prez. feltöltése és értékelése, ...)

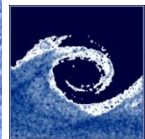
- Facebook oldalak:

[www.facebook.com/BME.Aramlastan](http://www.facebook.com/BME.Aramlastan)

[www.facebook.com/aramlastanszakosztaly](http://www.facebook.com/aramlastanszakosztaly)

- **A mérési zh a harmadik mérési órán (6. hét) lesz.**

(a **zárhelyi a mérések megkezdésének feltétele**, pótlás a 7.héten )



# Általános ismertetés

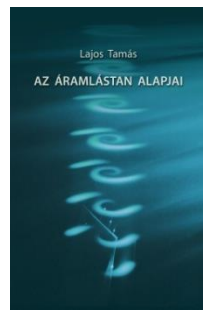
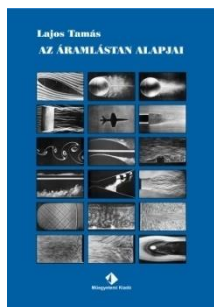
## Menetrend:

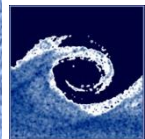
- **1.alkalom:** Általános információk, mérési bizonytalanság
- **2.alkalom:** Mérő eszközök, mérési módszerek bemutatása
- **3.alkalom:** Mérések bemutatása + **Mérési zh (45')**
- **4.alkalom:** A mérés
- **5.alkalom:** B mérés
- **6.alkalom:** Elmaradt mérések pótlása
- **7.alkalom:** A+B mérések prezentációja

*részletek a tantárgy leírásban találhatóak.*

*A könyv 6. fejezet, 222 – 274. oldal (2008.) +*

*a **mérési bizonytalanság** (hibaszámítás)*



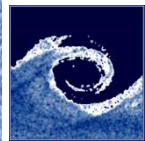


# Általános ismertetés

## A mérőcsoportok felépítése:

- 4 fős mérőcsoportok
- Két-két mérésvezető a két mérési alkalomhoz (A, B), a másik két fő segítő (megjelenni mindenkinek kötelező)
- A mérés vezetők készítik az adott méréshez tartozó jk.-t és a prez.-t (a 2 ember egyet, a pontszám is közös)
- Minden méréshez egyéni feladat tartozik, a csoport beosztások és feladatok a [tantárgy honlapján](#) megtalálhatóak
- Példa: Tomasics S. és Novotni G. a B alkalommal végezte az M5 mérés E jelű feladatát

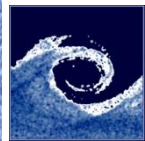
Mérőcsoport beosztás:				Mérés száma:	Feladat
1	A	Bálint Zádor	(az A jelű méréseken mérésvezető)	8	A
	A	Rácz-Szabó Lilla	(az A jelű méréseken mérésvezető)		
	B	Tomasics Sára	(a B jelű méréseken mérésvezető)	5	E
	B	Novotni Gergely	(a B jelű méréseken mérésvezető)		



## Felkészülés a mérésre

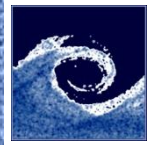
---

- A [Poseidon](#) rendszerben vagy a [tárgy weblapján](#) meg kell néznie és le kell töltenie a mérésvezetőknek a számukra kijelölt mérési feladatot. (pl. M3/c).
- A mérőcsoport minden tagja olvassa el a mérési útmutatót.
- **Kézzel írott mérési tervet kell készítenie** a mérésvezetőnek a mérés kezdetére. A mérési tervnek a következő dolgokat kell tartalmaznia::
  - A mérőcsoport tagjairól információk (nevek, NEPTUN kód) megfelelő rubrika a jelenlét ellenőrzésére
  - Megfelelő hely minden oldalon, ahol a mérésvezető oktató aláírhatja a dokumentumot.
  - A mérés során felhasználni kívánt eszközök listája, megfelelő hely az eszközök gyári számának/azonosítójának feltüntetésére.
  - Táblázatok a mérési adatoknak, kiemelt hely a környezeti adatoknak (légköri nyomás, teremhőmérséklet)
  - A kiértékeléshez szükséges egyenletek, megfelelő hely az ellenőrző számítások elvégzéséhez.
  - **Milliméter papír** egy jellemző mennyiség felrajzolásához.



## A mérés során

- A mérés kezdetén a mérést segítő oktató ellenőrizni fogja a kézzel írott mérési vázlatot. A mérést segítő oktató kérdésekkel ellenőrzi a mérőcsoport felkészültségét, a mérést csak ezután lehet elkezdeni.
  - A felkészületlen mérőcsoportoknak a mérést meg kell ismételnie
- El kell végezni a mérési feladatot
- A mérőcsoportnak a mérés során egy Betz manométer segítségével ellenőriznie kell a digitális nyomásmérő működését
- A mérés során egy, a mérést segítő oktató által megjelölt mennyiséget milliméterpapíron ábrázolni kell. A ábrát a mérést vezető oktató ellenőrizni fogja, amennyiben az nem megfelelő, a mérést meg kell ismételni.



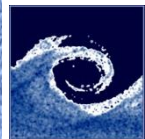
## A mérési adatok kiértékelése és ellenőrzése I.

- A mérési adatok felhasználásával mérési jegyzőkönyvet kell készíteni.
- A mérések esetén a tanszéki honlapon elérhető egy ellenőrző felület, amin a számítások helyessége ellenőrizendő

[www.ara.bme.hu/lab](http://www.ara.bme.hu/lab)

- **Használata kötelező** (ha az adott méréshez elérhető ilyen űrlap)
- Csak a kiértékelés helyességét ellenőrizzük.
- **Ha a számítás helytelen:** újra kell próbálkozni
  - Nincs korlátozva a próbálkozások száma, de az összes hallgatói tevékenységet naplózzuk. A javító oktató figyelembe veheti a pontozásnál, hogy ki hányszor próbálkozott. (Fair use policy)
  - Az előző félévben minden mérésnél volt olyan hallgató, aki már az első kitöltéskor sikerrel járt.
- **Ha a számítás elfogadható:** a program egy ellenőrző kódot ad
- **Az ellenőrző kódot jegyzőkönyv fedőlapjára kell másolni!**
  - A pontozásnál figyelembe vesszük a számítási hiba mértékét [%] és a próbálkozások számát – ezeket az ellenőrző kód tartalmazza!





# A mérési adatok kiértékelése és ellenőrzése II.

- Példa: **Sajnos a számítása helytelen. Kérjük ellenőrizze a bevitt adatokat és próbálja újra!**  
**Próbálkozások száma: 7.**

* Beszívóelemen mért nyomásesés (3. térfogatáram):	300	[Pa]
* Mérőperemen mért nyomásesés (1. térfogatáram):	400	[Pa]
* Mérőperemen mért nyomásesés (2. térfogatáram):	500	[Pa]
* Mérőperemen mért nyomásesés (3. térfogatáram):	600	[Pa]

## Származtatott mérési adatok

Hőmérséklet:	kihagy	[K]	
* Levegő sűrűsége:	1.18	[kg/m <sup>3</sup> ]	Elfogadva!
* Levegő kinematikai viszkozitása:	1.507e-5	[m <sup>2</sup> /s]	Elfogadva!

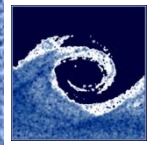
## Kalibráció (1. térfogatáram)

Mérőperem átfolyási tényező, C (1. lépés):	0.6	[-]	Elfogadva!
Térfogatáram (1. lépés szerint):	kihagy	[m <sup>3</sup> /s]	
Sebeség (1. lépés szerint):	kihagy	[m/s]	
* Reynolds-szám (1. lépés szerint):	30e3	[-]	Pontatlan számítási eredmény!
Mérőperem átfolyási tényező, C (2. lépés):	kihagy	[-]	
* Mérőperem átfolyási tényező, C (végleges):	0.65	[-]	Elfogadva!
* Térfogatáram (végleges):	0.025	[m <sup>3</sup> /s]	Pontatlan számítási eredmény!
* Beáramlási tényező:	1.8	[-]	Pontatlan számítási eredmény!

- Néhány (szürke) mezőt nem kötelező kitölteni.
- Ha a számítás helytelen, érdemes ezeket is beírni – ez segíthet megtalálni a számítási hiba okát!

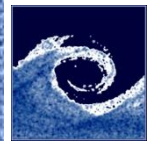
## Kalibráció (2. térfogatáram)

Mérőperem átfolyási tényező, C (1. lépés):	0.6	[-]	Elfogadva!
Térfogatáram (1. lépés szerint):	kihagy	[m <sup>3</sup> /s]	
Sebeség (1. lépés szerint):	kihagy	[m/s]	
* Reynolds-szám (1. lépés szerint):	31e3	[-]	Elfogadva!



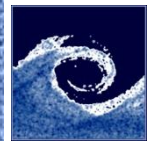
## A mérési adatok kiértékelése és ellenőrzése III.

- A mérési eredményekből készített mérési jegyzőkönyvet a [Poseidon](#) hálózatba kell feltölteni.
- A jegyzőkönyv feltöltési **határideje a mérést követő második vasárnap éjféli.**
- Lehetőség nyílik a mérésekkel kapcsolatban konzultációra, ezt célszerű a mérési jegyzőkönyvet javító oktatóval elvégezni. Az oktatók az általuk megjelölt konzultációs időpontban érhetők el.
- A mérések utolsó 15 percében lehetőség nyílik a mérést felügyelő oktatókkal és demonstrátorokkal konzultálni, amire a mérésen nem résztvevők is bejöhetnek.



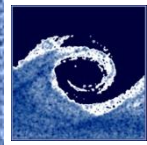
## A mérési jegyzőkönyv követelményei I.

- A mérési jegyzőkönyvek első lapja egy előírt (letölthető) fedő lap
- Ezen kívül 6 oldalban kell az eredményeket összefoglalni.
- A mérési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:
  - A fedő lapon az ellenőrző kódot
  - A mérés rövid ismertetését, a mérőberendezés és eszközök adatait
  - Az egyéni mérési feladatot
  - A felhasznált összefüggéseket
  - A mért ill. számított adatokat táblázatosan
  - Hibaszámítást
  - A szükséges diagramokat **hibasávokkal**
  - Az eredmények szöveges értékelését
  - A felhasznált irodalmat
  - Mellékletében a mérés során készített jegyzetet scannelt formában
- A jegyzőkönyv mellé csatolni kell a számításokhoz és a diagramok elkészítéséhez használt (Excel) táblázatot
- A diagramok típusa pont diagram (XY plot), a vonaldiagram típus használata TILOS! (különben az X tengelyen a távolságok nem lesznek arányosak)



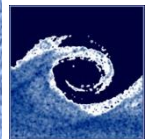
## A mérési jegyzőkönyv követelményei II.

- A jegyzőkönyv legyen logikus felépítésű
- A jegyzőkönyv legyen tetszetős:
  - Sorkizárt formátum
  - Az összefüggések egyenletszerkesztővel készülnek és nem képként kerülnek beillesztésre
  - A diagramok egységes formátummal rendelkeznek
  - Kerülni kell a kézzel készített ábrákat (helyette: fénykép, 2D/3D CAD szoftverek, ...)
  - ...
- A jegyzőkönyv formátuma: PDF
- A jegyzőkönyvet és a számítási táblázatot egy file-ba tömörítve (lehetőleg zip) kell feltölteni
- A feltöltött file neve a következő formátum legyen:  
Vezeteknev1\_NEPTUN1\_Vezeteknev2\_NEPTUN2\_”AvagyB”\_Nap\_ora\_”+vagy#”\_Mx.zip  
Példa: Tomasics\_ABC123\_Novotni\_DEF456\_B\_Sze\_16-18\_paros\_M5E.zip
- **Nagyon fontos, hogy a jegyzőkönyvek önálló munkát tartsanak, vagy másolás esetén megadott forrású elemeket. AKI NEM MEGENGEDETT FORRÁSOKAT HASZNÁL FEL, SZÁMOLNIA KELL AZ ETIKAI ELJÁRÁSSAL ÉS A FELFÜGGESZTÉSSEL!**



## A mérési jegyzőkönyvek értékelése

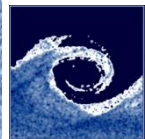
- A jegyzőkönyv feltöltési határideje a mérést követő második vasárnap éjfélig
- A késést szankcionáljuk!
- Az időben feltöltött jegyzőkönyvek értékelését **2 napon belül** az adott mérésért felelős oktató értékeli
- Amennyiben javításra van szükség a javítást követő vasárnap éjfélig feltölthető egy javított változat
- A jegyzőkönyv akkor **elfogadott**, ha kapott pontszám a maximális pontszám legalább **40%**-át eléri
- Az elfogadott jegyzőkönyv a prezentáció tartás és az aláírás feltétele



## Prezentáció

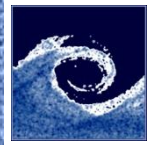
---

- Mintaprezentáció letölthető a honlapról
- 8 perces előadás
- A mérés lényegének bemutatása
- A személyes mérési feladat ismertetése
- Mérőberendezés és eszközök ismertetése
- Hibaszámítás ismertetése
- Kiértékelés összefoglalása
- Eredmények megjelenítése
- A mérés összefoglalása / értékelés
- Szíves vesszük a mérésekre vonatkozó változtatási javítási javaslatokat!



## Késés, pótlási lehetőségek

- A késés szankcionálása:
  - Naponta -10% (pl. ha valaki a határidő utáni szerdán tölti fel a jegyzőkönyvét, akkor az maximum 70%-os lehet)
  - Egy hetes vagy hosszabb késés különjárási díj
  - **A jegyzőkönyvet legkésőbb a 14. oktatási héten pénteken 12:00-ig fel kell tölteni (de ez már nagyon súlyos késés)**
- A Mérés ZH pótlása:
  - A ZH-t következő hét csütörtök, 18:15
  - Pót-pót ZH: szóban (jelentkezni kell, nem fogjuk keresni az embereket)
- A prezentáció pótlása:
  - A pótlási héten (valószínűleg hétfőn)
  - Különjárási díjas



## A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) I.

- Az **abszolút hiba** (mérési bizonytalanság): az a tartomány, amin belül a mért adat értelmezhető.
- **Megadása**, ha a mért adat  $X$ :  $\delta X$
- A **mért eredmények helyes megadása** ebben az esetben:  $X \pm \delta X$
- A **relatív hiba**:  $\delta X / X$
- **Származtatott mennyiség ( $R$ ) esetén** a hiba továbbterjed, ekkor a következő összefüggést használjuk:

$$R = R(X)$$

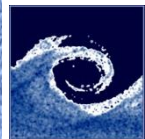
$$\delta R = \frac{\partial R(X)}{\partial X} \cdot \delta X$$

- **Több, függetlenül mért adatból származtatott mennyiség esetén:**

$$R = R(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

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





# A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) I. **Sebességmérés bizonytalansága**

Prandtl-csővel mért dinamikusnyomás:

$$\Delta p_d = 486,2 \text{ Pa}$$

A labor kondíciója:

$$p = 1010 \text{ hPa} \quad ; \quad T = 22^\circ \text{C} \quad (295 \text{ K});$$

Levegő gázállandója

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

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho_{lev}} \cdot \Delta p_d} \quad \rho_{lev} = \frac{p}{R \cdot T}$$

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

$$v = 28,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \rho_{lev} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

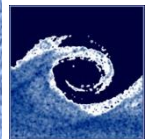
$$v = f(T, p_0, \Delta p_d, \text{állandók})$$

Hibával terhelt mennyiségek ( $X_i$ ):

A légköri nyomás mérési hibája a leolvasási hibája  $\delta p_0 = 100 \text{ Pa}$

A labor hőmérsékletének mérési hibája,  $\delta T = 1 \text{ K}$

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



# A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) II.

## Pl. a sebességmérés bizonytalansága

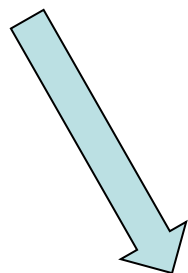
Általánosan abszolút hiba

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

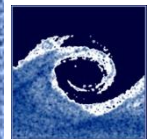
$$R = v$$

$$X_1 = T; X_2 = p_0; X_3 = \Delta p_d$$

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



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial v}{\partial T} = \sqrt{2R} \cdot \frac{1}{2} \cdot T^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{p_0}} \cdot \sqrt{\Delta p_d} = 0,00366 \frac{m}{s \cdot K} \\ \frac{\partial v}{\partial p_0} = \sqrt{2R} \cdot \sqrt{T} \cdot \frac{-1}{2} \cdot p_0^{-\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{\Delta p_d} = 1,4 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s \cdot Pa} \\ \frac{\partial v}{\partial \Delta p_d} = \sqrt{2R} \cdot \sqrt{T} \cdot \frac{1}{\sqrt{p_0}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta p_d^{-\frac{1}{2}} = 0,029 \frac{m}{s \cdot Pa} \end{array} \right.$$



# A mérési bizonytalanság meghatározása (hibaszámítás) III.

## Pl. a térfogatáram bizonytalansága

A sebességmérés abszolút hibája:

$$\delta v = \sqrt{\left( \delta T \cdot \sqrt{\frac{2R}{\rho_0}} \Delta p_d \cdot \frac{1}{2} \cdot T^{-\frac{1}{2}} \right)^2 + \left( \delta p_0 \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot T} \cdot \Delta p_d \cdot \frac{-1}{2} \cdot p_0^{-\frac{3}{2}} \right)^2 + \left( \delta(\Delta p_d) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T}{\rho_0}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta p_d^{-\frac{1}{2}} \right)^2}$$

$$\delta v = 0,05977 \frac{m}{s}$$

A sebességmérés relatív hibája:

$$\frac{\delta v}{v} = 0,0021 \cong 0,21\%$$

A sebességmérés számeredménye:

$$v = 28,45 \pm 0,05977 \frac{m}{s}$$

A jegyzőkönyvben is így kell dokumentálni!