



Térfogatáram mérés

Név:

Neptun kód:

Kurzus:

Oktató:

Mérés helye:

Dátum:

Aláírás:

Eredmények (Oktató tölti ki):

Beugró pontszám	Jegyzőkönyv pontszám	Ellenőrizte

Fontos információk:

A mérőperemmel és a Pitot-csővel végzett mérések azonos berendezésen történnek. A két módszer összehasonlításához azonos térfogatáram mellett olvassuk le mindkét műszer értékeit!

A mérések kiértékelése során alkalmazott egyenleteknél szerepeljen az egyenletekbe való behelyettesítés, illetve figyeljünk oda a megfelelő mértékegységek jelölésére a végeredményeknél.

A közbözés során egyszerre kell figyelni a szintemelkedést és kezelni a stopperórát, ezért célszerű csak az előbbit nézni, és kerek mm-szint-értékeknél az órát elindítani, illetve megállítani. A stopper által mért időt tized, század sec értékkel együtt kell leolvasni. A véletlen hiba csökkentése érdekében lehetőleg ne mérjünk 30 másodpercnél rövidebb ideig!

A rotaméter kalibrálásához készüljön diagram a kalibrációs görbéről. A diagram x tengelyén szerepeljen a rotaméter lebegőtestének szintje, mely mértékegység nélküli mennyiség, ennek megfelelően [osztás]-al szükséges jelölni. A diagram y tengelyén szerepeljen az térfogatáram [m^3/s] mértékegységgel. A diagram léptékét MINDEN tengelyen úgy kell megválasztani, hogy 1 egység 1 cm, 2 cm vagy 5 cm legyen.

Jelölések jegyzéke:

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
<i>d</i>	torokármérő	m
<i>D</i>	csőátmérő	m
<i>h_{1...h₈}</i>	manométer kitérés	m
<i>h</i>	rotaméter skála	m
<i>k</i>	áramlási formától függő szám	-
<i>Δm</i>	szintemelkedés	mm
<i>p</i>	levegő sűrűsége	kg/m^3
<i>p₀</i>	légköri nyomás	Pa
<i>Δp</i>	nyomáskülönbség	Pa
<i>q</i>	térfogatáram	m^3/s
<i>R</i>	levegő gázállandója	$\text{m}^2/\text{s}^2\text{K}$
<i>Re</i>	Reynolds szám	-
<i>t₀</i>	szobahőmérséklet	C°
<i>Δt</i>	idő	s
<i>V</i>	térfogat	m^3
<i>α</i>	tartályállandó	dm^3/mm
<i>β</i>	átmérőviszony	-
<i>ρ</i>	sűrűség	kg/m^3
<i>κ</i>	adiabatikus kitevő	-
<i>v</i>	kinematikai viszkozitás	m^2/s
<i>átl</i>	átlag	
<i>din</i>	dinamikus	
<i>m</i>	mérőközeg	
<i>max</i>	maximum	
<i>MP</i>	mérőperemre vonatkozó	
<i>st</i>	statikus	

1. Mérés célja:

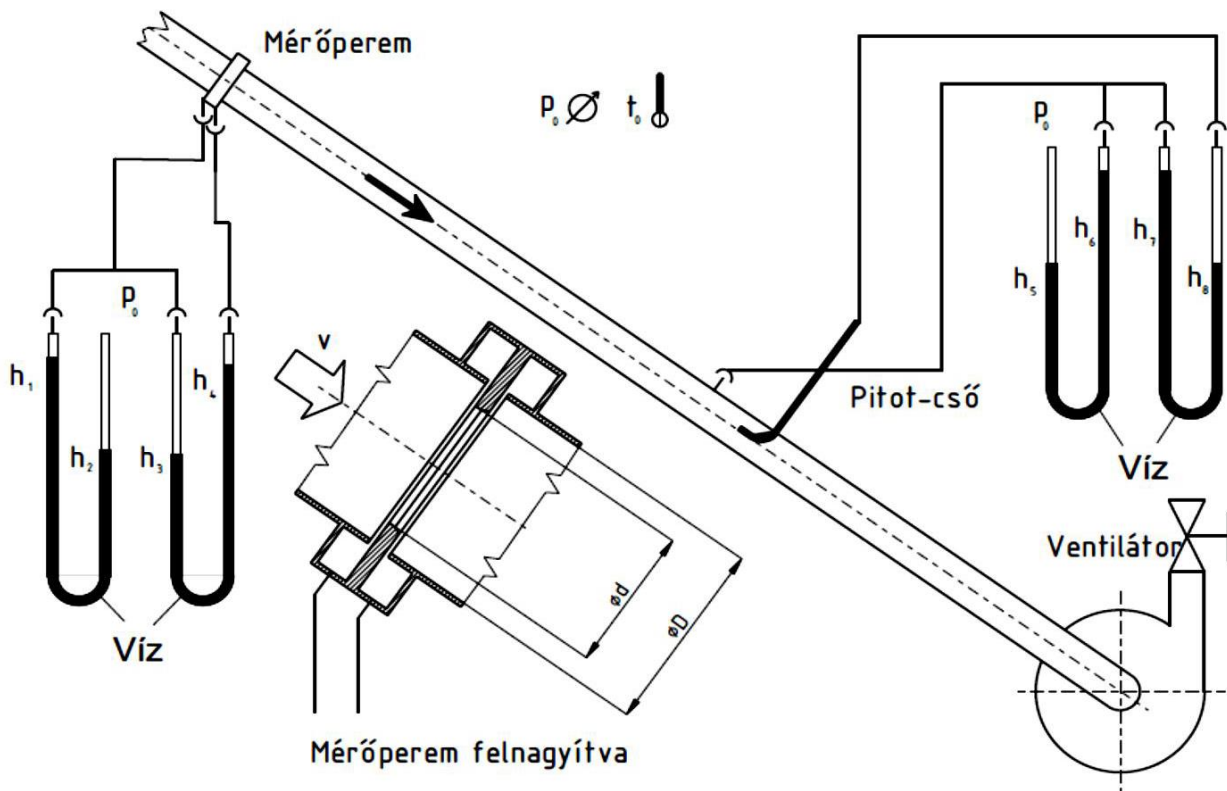
A mérés célja az alábbi térfogatáram és áramlási sebesség mérési módszer megismertetése:

- Csővezetékben áramló levegő térfogatáramának mérése **mérőperemmel**.
- Csővezetékben áramló levegő térfogatáramának mérése **Pitot-csővel**.
- **Rotaméter** kalibrálása gázorával.
- Térfogatáram mérése **köbözéssel**.

2. Térfogatáram mérése mérőperemmel

2.1. Mérés leírása:

A mérési elrendezésben (lásd 1. ábra) egy ventilátor szállít levegőt egy egyenes, ismert keresztmetszetű csővezetéken keresztül. A mérésre alkalmazott mérőperem a szívóoldali egyenes csővezetékben található meg. A mérőperem egy olyan szűkület a csővezetékben, melyen a teljes keresztmetszetben és szűkületben lévő nyomás különbségét mérjük, majd ebből számoljuk az átáramlott térfogatáramot, a keresztmetszet ismeretében pedig az átlagsebességet.



1. ábra: Mérőperemmel és Pitot-csővel végzett mérések elrendezése

A mérés a ventilátor elindításával kezdődik, amit az oktató végez. Ezt követően egy tetszőleges térfogatáramot állítunk be a ventilátor nyomóoldalán található fojtószelep segítségével. A mérőperem által mért térfogatáram kiszámításához két nyomáskülönbség értéket szükséges meghatározni. Ezekhez a mérőperemre kapcsolt, víztöltésű U-csöves manométereket kell leolvasni. Az egyik manométer segítségével a mérőperem előtti, statikus nyomás számítható, míg a másikkal a mérőperemen történő nyomásesés adható meg. A térfogatáram a levegő viszkozitásától is függ, ennek meghatározásához olvassuk le a légköri nyomást barométerről, illetve a levegő hőmérsékletét hőmérőről.

A térfogatáram számítását az alább megadott (2.4. fejezetben) egyenletekkel lehet elvégezni. A számítás az átfolyási egyenlettel közvetlenül nem határozható meg, mert az egyenletben szereplő C sebességi tényező függ a sebességtől (Re -számtól), ami korábban számítandó. Ezért ún. iterációt szükséges alkalmazni, melyet számítógéppel végzünk el.

2.2. A mérés során használt berendezések és eszközök adatai:

Mérőperemes és Pitot-csöves mérésnél alkalmazott berendezések és eszközök:

Eszköz neve	Eszköz típusa	Eszköz gyári száma
Ventilátor		
Barométer		
Hőmérő		

2.3. Mért és számított mennyiségek:

Egyszer mérendő mennyiségek, konstansok:

Légköri nyomás	p_0 [mbar]	
Légköri hőmérséklet	t_0 [°C]	
Torokátmérő	d [mm]	46,7
Csőátmérő	D [mm]	59,3
Adiabatikus kitevő	κ [-]	1,4
Víz sűrűsége	ρ_m [kg/m ³]	1000
Levegő gázállandója	R [m ² /s ² K]	287

Mérőperemhez kapcsolt manométerek kitérései:

kitérés	[mm]	[m]
h_1		
h_2		
h_3		
h_4		

Számítógéppel végzett iteráció eredménye:

Srsz.	v [m/s]	Re [-]	C [-]	q [m ³ /s]	v [m/s]
1	15,0				
2					
3					
4					

A táblázat utolsó előtti cellájában megkapott térfogatáram: q [m³/s]=

2.4. Számítások bemutatása

Az iteráció menete a következő:

1. Felveszünk egy tetszőleges kiindulási áramlási sebességet, pl. 15 m/s-ot.
2. A számítógép meghatározza a Re számot.
3. Kiszámítja a kapott Re számmal a C sebességi tényezőt, majd a térfogatáramot, q -t.
4. Kiszámítja az áramlási sebességet. Ha az új és a régi sebesség közötti eltérés nagyobb, mint 2%, akkor a 2. lépéstől kezdve megismétli a számítást az új sebességgel!

Számítógép által alkalmazott összefüggések:

Átmérőviszony	$\beta = \frac{d}{D}$
Nyomásesés a mérőperemen	$\Delta p_{MP} = \rho_m g (h_4 - h_3)$
Statikus nyomás a mérőperem előtt	$p_{st} = p_0 - \rho_m g (h_1 - h_2)$

A levegő kinematikai viszkozitása	$\nu = \frac{101300}{p_{st}} (13,3 + 0,1t_0)10^{-6}$
A levegő sűrűsége	$\rho = \frac{p_{st}}{R(273 + t_0)}$
Belépési tényező	$E = (1 - \beta^4)^{-0,5}$
Expanziós szám	$\varepsilon = 1 - (0,41 - 0,35\beta^4) \frac{\Delta p_{MP}}{\kappa p_{st}}$
Reynolds szám	$Re = \frac{\nu D}{\mu}$
Sebességi tényező	$C = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8 + 0,0029\beta^{2,5} \left[\frac{10^6}{Re} \right]^{0,75}$
Térfogatáram az átfolyási egyenlettel	$q = C \varepsilon \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p_{MP}}{\rho}}$
Az áramlás sebessége	$v = \frac{q}{\frac{D^2 \pi}{4}}$

3. Térfogatáram mérése Pitot-csővel

3.1. Mérés leírása:

A Pitot-csővel végzett mérés azonos berendezésen történik mint az előbbi, mérőperemes mérés (1. ábra). Ezt kihasználva a Pitot-csőves mérést azonos térfogatáramnál végezzük el, hogy az eredmények összehasonlíthatók legyenek. Az áramlással szembefordított Pitot-csővel egy pontban, a cső közepénél tudjuk megmérni a sebességet, ami a maximális áramlási sebesség az adott keresztmetszetben.

A sebesség meghatározásához két nyomáskülönbséget határozunk meg, így ebben az esetben is két víztöltésű, U-csőves manométert alkalmazunk. Az egyik a csőben kialakult statikus nyomást adja meg, míg a másikkól a dinamikus nyomás számítható. A statikus nyomásból, a leolvasott légköri nyomásból és a levegő hőmérsékletéből kiszámolható először a levegő viszkozitása, majd sűrűsége. A dinamikus nyomásból így kifejezhető a cső közepénél mért maximális levegősebesség.

Az átlagsebesség a maximális sebességtől és az áramlási formától függ. Az áramlási formát a Reynolds-szám ismeretében tudjuk megállapítani; és két értéke lehet attól függően, hogy lamináris vagy turbulens az áramlás. Ennek eldöntésére mindkét esettel kiszámoljuk a Re -számot és az eredmények alapján döntünk a k áramlási formától függő szám értékéről. Végül az átlag sebesség és a csőátmérő ismeretében számoljuk ki a térfogatáramot.

3.2. Mért és számított mennyiségek:

Egyszer mérendő mennyiségek, konstansok:

Légköri nyomás	p_0 [Pa]	
Légköri hőmérséklet	t_0 [°C]	
Csőátmérő	D [mm]	59,3
Víz sűrűsége	ρ_m [kg/m ³]	1000
Levegő specifikus gázállandója	R [m ² /s ² K]	287

Pitot-csőhöz kapcsolt manométerek kitérései:

kitérés	[mm]	[m]
h_5		
h_6		
h_7		
h_8		

3.3. Számítások bemutatása

A statikus nyomás: $p_{st} = p_0 - \rho_m g(h_6 - h_5) = \dots\dots\dots$

A levegő kinematikai viszkozitása m²/s-ban: $\nu = \frac{101300}{p_{st}} (13,3 + 0,1t_0) 10^{-6} = \dots\dots\dots$

A levegő sűrűsége: $\rho = \frac{p_{st}}{R(273+t_0)} = \dots\dots\dots$

A dinamikus nyomás: $p_{din} = \rho_m g(h_7 - h_8) = \dots\dots\dots$

Maximális levegősebesség a cső közepénél: $v_{max} = \sqrt{p_{din} \frac{2}{\rho}} = \dots\dots\dots$

A k áramlási formától függő számot a Re -szám ismeretében tudjuk megállapítani:

ha $Re \leq 2320$, akkor lamináris az áramlás $\Rightarrow k = 0,5$,

ha $Re > 2320$, akkor turbulens az áramlás $\Rightarrow k = 0,78$.

Mindkét k -val kiszámoljuk az átlagsebességet és a Reynolds-számot. Meghatározzuk az áramlás jellegét, és ennek megfelelően **bekarikázással jelöljük** az érvényes Reynolds-számot, és kiszámoljuk a hozzá tartozó térfogatáramot.

Az átlagsebesség: $v_{\text{átl}} = kv_{max}$, $k = 0,5 \Rightarrow \dots\dots\dots$ $k = 0,78 \Rightarrow \dots\dots\dots$

Reynolds szám: $Re = \frac{v_{\text{átl}} D}{\nu}$, $k = 0,5 \Rightarrow \dots\dots\dots$ $k = 0,78 \Rightarrow \dots\dots\dots$

A térfogatáram: $q = v_{\text{átl}} \frac{D^2 \pi}{4}$, $k = 0,5 \Rightarrow \dots\dots\dots$ $k = 0,78 \Rightarrow \dots\dots\dots$

Az alábbi táblázatban az áramlás valós jellegének megfelelő végeredményeket foglaljuk össze. A keresett térfogatáram a táblázat utolsó cellájában található.

p_{st}	ρ	p_{din}	v_{max}	k	$v_{\text{átl}}$	Re	q
Pa	kg/m ³	Pa	m/s	-	m/s	-	m ³ /s

4. Rotaméter kalibrálása gázórával

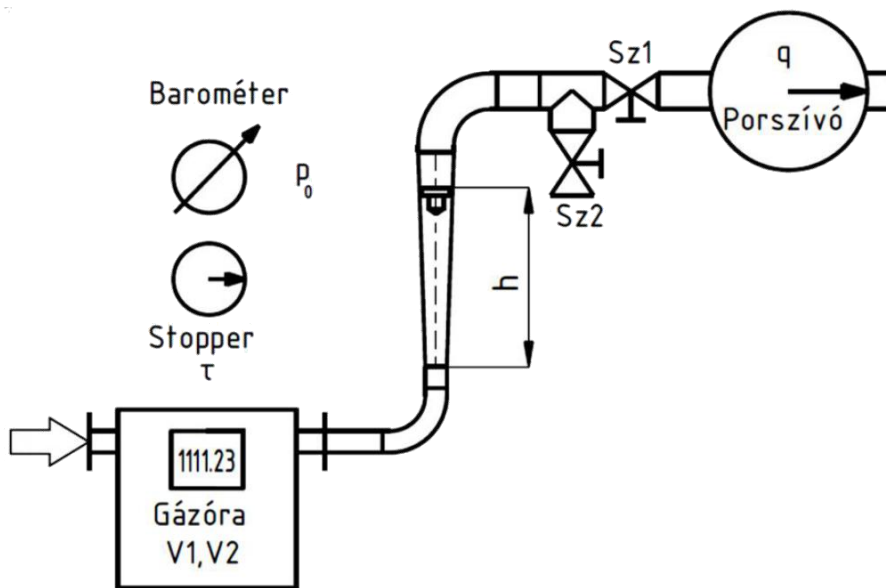
4.1. Mérés leírása:

A rotaméter a lebegőtestes térfogatárammérők csoportjába tartozik. Az ezzel való térfogatáram mérés vizsgálatát annak kalibrációján keresztül végezzük el. Az ehhez alkalmazott elrendezés a 2. ábrán látható. A kalibráció során egy gázórát használunk pontos műszerként, mellyel megmérhetjük a rendszerben előállított térfogatáramot és kapcsolatot tudunk megállapítani a rotaméter által mutatott osztás és a térfogatáram között (kalibrációs diagram).

A légszállító porszívó indítása előtt az Sz1 és Sz2 jelű szelepek nyitva vannak. A felfutás után óvatosan lezárjuk az Sz2 szelepet, ez lesz a rotaméteren átáramló maximális térfogatáram. A gázóra leolvasás során a köbözés szabályainak megfelelően megvárjuk, hogy a gázóra utolsó számjegye egész számra érkezzon. Ekkor elindítjuk a stoppert és a mérési idő befejeztével megint megvárjuk, hogy az utolsó számjegye egész számra essen és csak ekkor állítjuk le a stoppert. A mérési idő **legalább 30 másodperc**. Minden mérési pontban feljegyezzük a 4.3 fejezetben található

táblázatba a gázóra kiindulási (V_1) és mérés végi (V_2) állapotában mutatott térfogatot, a mérési időt (Δt), illetve a rotaméter lebegőtestének magasságát (h) osztásban. Az Sz2 szelep nyitásával -ahogy a térfogatáram csökken- további mérési pontokat vehetünk fel. Lehetőleg egyenletes elosztásban **5 mérési pontot** állítunk be. A mérés végén mindkét szelep nyitva legyen, a porszívó kikapcsolható.

A mért térfogat különbségből (ΔV) és az eltelt időből (Δt) térfogatáramot számolunk. A számolt térfogatáramot (q) ábrázoljuk a rotaméter osztásának a függvényében diagramon, ezzel meghatározzuk a kalibrációs egyenest. Egyenest illesztünk a pontok közé úgy, hogy körülbelül annyi pont legyen alatta, mint fölötte, és az egyenes a lehető legközelebb fusson a pontokhoz.



2. ábra: Rotaméter kalibrálására alkalmazott mérés elrendezés

4.2. A mérés során használt berendezések és eszközök adatai:

Rotaméter kalibrálásánál alkalmazott berendezések és eszközök:

Eszköz neve	Eszköz típusa	Eszköz gyári száma
Legszállító gép		
Gázóra		
Rotaméter		

4.3. Mért és számított mennyiségek:

Rotaméter kalibrálásánál mért és számított adatok:

Sorszám	V_1 m^3	V_2 m^3	Δt s	h osztás	ΔV m^3	q m^3/s
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

4.4. Számítások bemutatása

A behelyettesítést az egyik mérési pont adataival végezzük el.

Térfogat: $\Delta V = V_2 - V_1 = \dots\dots\dots$

Térfogatáram: $q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \dots\dots\dots$

4.5. Kalibrációs diagram

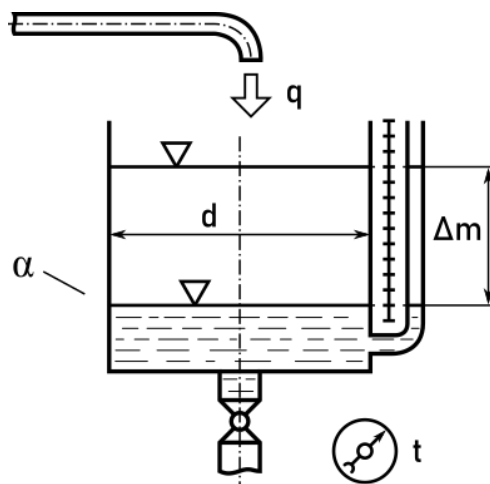
A4 milliméter papíron, diagramon ábrázoljuk a számított térfogatáramot a rotaméterről leolvasott magasság függvényében. A térfogatáramot [m³/s] mértékegységben, a rotaméter magasságát [osztás]-ban vesszük fel.

5. Térfogatáram mérése köbözéssel

5.1. Mérés leírása:

A köbözés a legegyszerűbb térfogatáram mérési módszer, aminek során ismert keresztmetszetű tartályban mérjük egy tetszés szerinti szintemelkedés idejét (3. ábra). A szintemelkedést a tartályhoz kötött, a közlekedőedények törvénye alapján működő üvegcsőben figyeljük. Az üvegcső mellé skálát helyezünk. Az időmérésre stopperóra szolgál. A folyadékáram: $Q_{\text{köböz}} = \alpha \frac{\Delta m}{\Delta t} \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \right]$, ahol $\alpha \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{mm}} \right]$ a tartályállandó az 1 mm magas tartályszelet térfogata, azaz a tartály keresztmetszete, a Δm a mért szintemelkedés mm-ben, a Δt a szintemelkedés ideje s-ban. A mérést egy tetszőlegesen beállított térfogatáramon végezzük el.

A véletlen hiba csökkentése érdekében 30 másodpercnél hosszabb ideig mérünk; illetve a pontos mérés érdekében a szintemelkedést kerek cm értéknél indítjuk, és állítjuk le; továbbá a stopper által mutatott időt nem kerekítjük, hanem századmásodpercre pontosan jegyezzük föl.



3. ábra: Köbözés mérési elrendezése

5.2. Mért és számított mennyiségek:

Köbözés során mért és számított adatok:

Δm	Δt	α	$Q_{\text{köböz}}$
mm	s	dm ³ /mm	dm ³ /s

5.3. Számítások bemutatása

Térfogat: $Q_{\text{köböz}} = \alpha \frac{\Delta m}{\Delta t} = \dots\dots\dots$

6. A mérés összefoglalása (néhány mondatban)

.....

.....

.....

.....

.....