

VÍZGYŰRŰS VÁKUUMSZIVATTYÚ MÉRÉSE

A vákuumszivattyúk olyan gépek, amelyek egy zárt térből gázt távolítanak el, és ezzel részleges vákuumot hoznak létre.

1. A mérés célja

Meghatározandók egy EV 40/80 típusú vákuumszivattyú jelleggörbéi. A jelleggörbék független paramétereiként vákuumgépek esetén a

$$p \quad \text{létesített vákuumnyomást,}$$
$$p_o / p \quad \text{sűrítési viszonyt vagy a}$$
$$\frac{p_o - p}{p_o} \quad \text{relatív vákuumot szokás használni.}$$

Így tehát pl. a

$$P_{izot} = f_1\left(\frac{p_o - p}{p_o}\right), \text{ a } Q = f_2\left(\frac{p_o - p}{p_o}\right) \text{ és az } \eta_{\text{ö}} = f_3\left(\frac{p_o - p}{p_o}\right)$$

függvénykapcsolatok adják a jelleggörbéket.

2. Elméleti alapok

A mérés az online jegyzet 15.2-es fejezetéhez kapcsolódik¹.

Vízgyűrűs vákuumszivattyú

A hengeres házban excentrikusan elhelyezett lapátos forgórész a házat nem teljesen kitöltő vizet gyűrű alakban történő forgásra kényszeríti úgy, hogy a lapátok a kialakult folyadékgyűrűbe végig beelógnak (lásd 1. ábrát). Ily módon periodikusan változó – növekvő, illetve csökkenő – kamratérfogatok keletkeznek. Ha növekvő kamratérfogathoz tartozó oldalra a szívó, a csökkenő térfogatokhoz tartozó oldalra pedig a nyomócsonkot kötjük, akkor a szivattyú gázszállításra válik alkalmassá. A járókerék és az álló ház súrlódó felületeit a szivattyúban lévő vízgyűrű keneli. Az összesűrített gáz hőmérséklete a sűrítés alatt - mivel a gáz a vízgyűrűvel érintkezik - nem változik meg lényegesen, ezért a kompresszió izotermikusnak tekinthető. A keletkező kismértékű hőmérsékletemelkedés a vízgyűrű állandó cseréjével tovább csökkenthető.

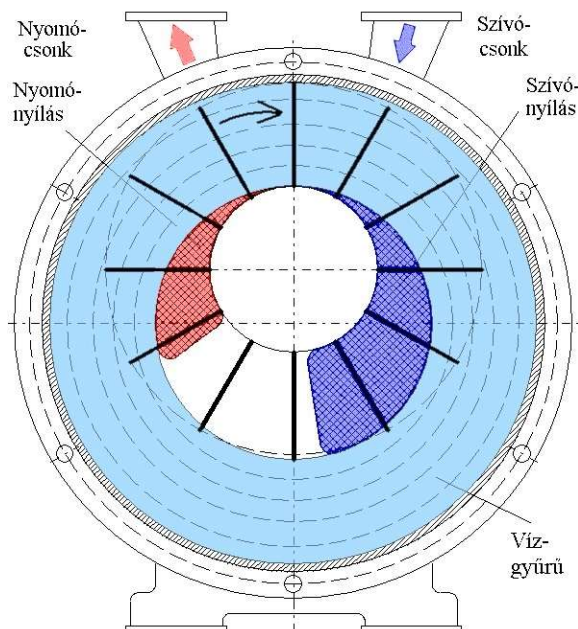
Állapotváltozás állandó hőmérsékleten

Amennyiben egy állapotváltozás igen lassan folyik le, úgy a közegnek alkalma van arra, hogy az állapotváltozás során mindvégig termikus egyensúlyban maradjon környezetével, tehát a környezetéből megfelelő mennyiségű hőt vegyen fel, vagy adjon le. Így az állapotváltozásban résztvevő közeg hőmérséklete mindvégig azonos maradhat a környezet hőmérsékletével.

¹ http://ak.mersz.org/?xmlazonosito=m304ag_57#m304ag_57

Ilyen állapotváltozás esetén az ideális gázok állapotegyenlete értelmében

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = RT = \text{állandó.}$$



1. ábra A vízgyűrűs vákuumszivattyú működési vázlat^{2,3}

Az izotermikus állapotváltozás p-v diagramban egy egyenlőszárú hiperbolával ábrázolható, melynek helyzetét az állapotváltozás hőmérséklete határozza meg.

Ideális gáz esetében, ha a hőmérséklet állandó, a fajlagos hasznos munka a kezdeti (1-es index, szívócsonk) és végállapot (2-es index, nyomócsomk) ismeretében a következők szerint számítható:

$$W_{1,2} = RT \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right],$$

illetve az ideális gázok állapotegyenletét alkalmazva:

$$W_{1,2} = p_1 v_1 \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right].$$

A Q_1 térfogatáramú gázra a teljesítmény

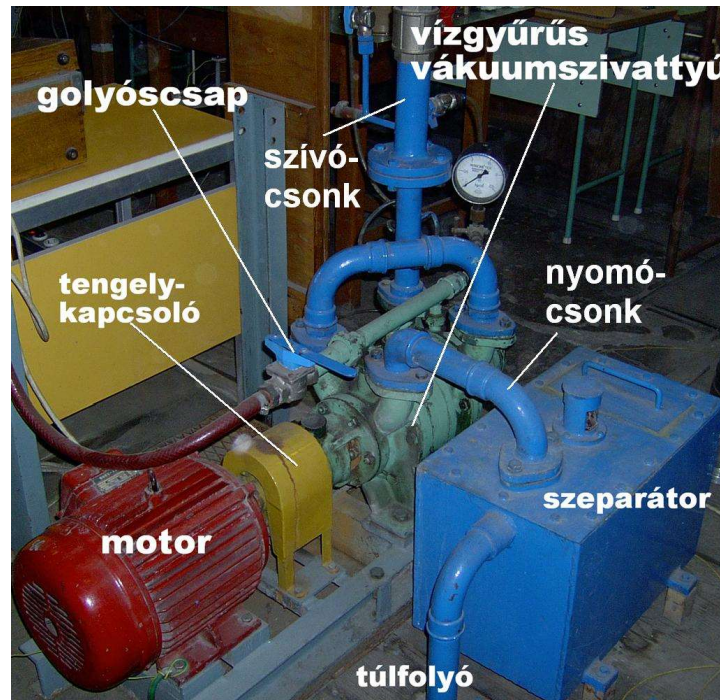
$$P = p_1 Q_1 \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right] = [\text{W}].$$

² A gép működése videón: <https://www.youtube.com/watch?v=DEmCy1dwLqo>

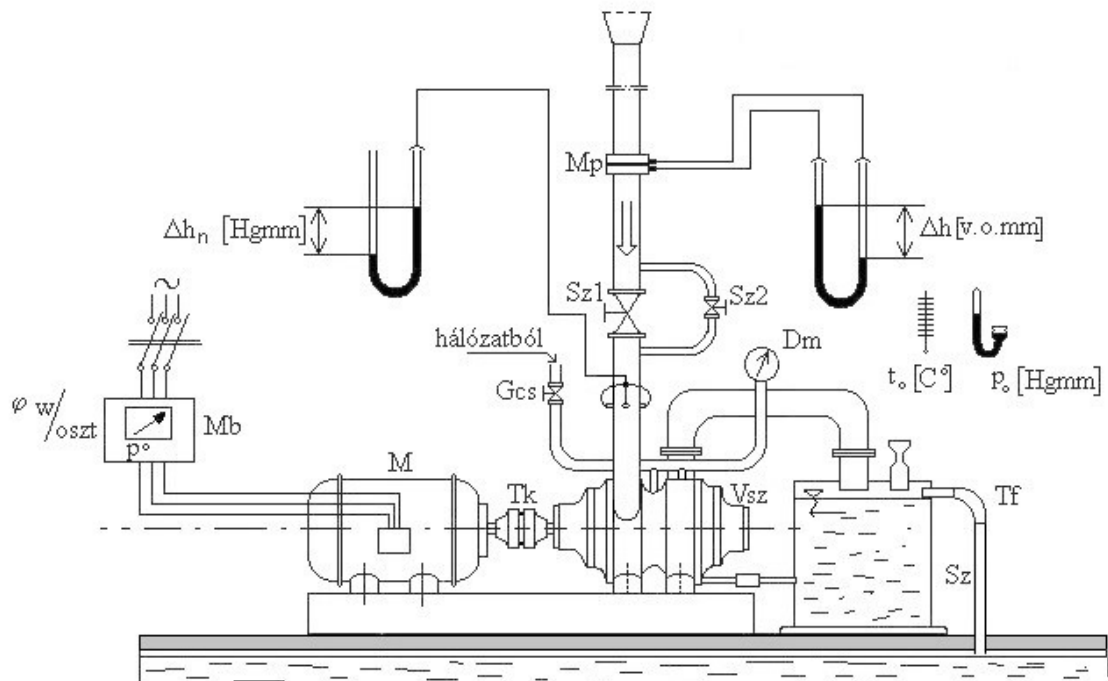
³ A gép működése egy másik videón: <https://www.youtube.com/watch?v=Y99ulE85e8Q>

3. A mérőberendezés leírása

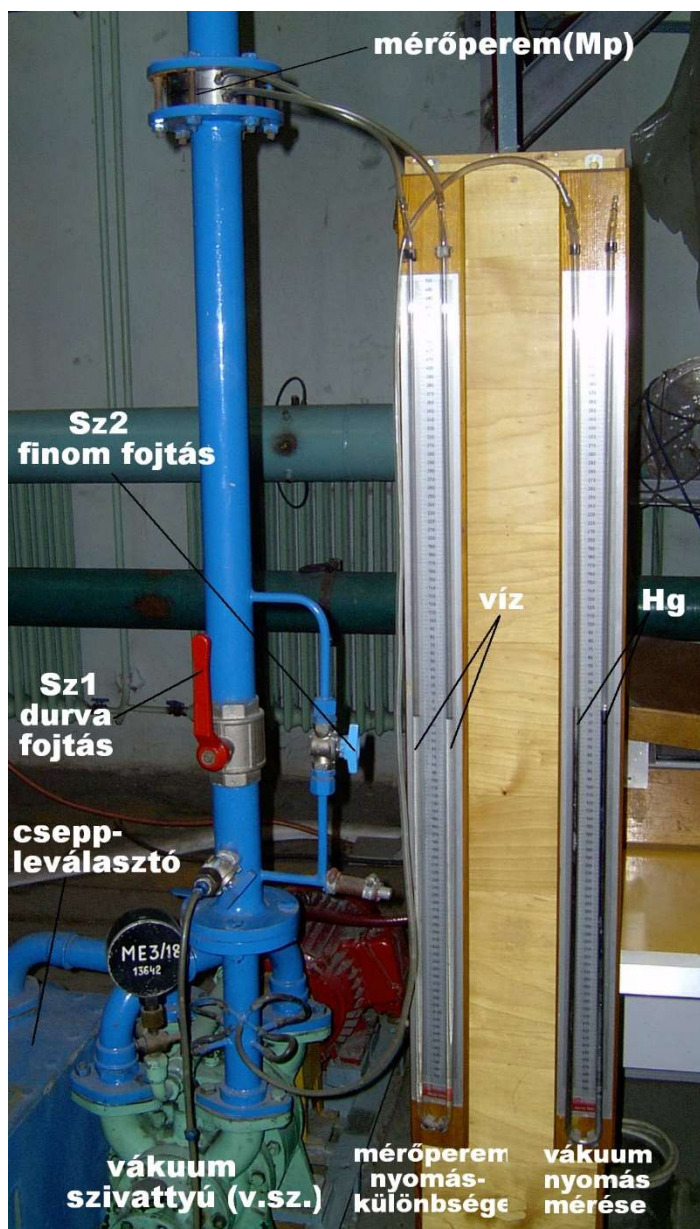
A mérőberendezést az 1. és 2. kép, a mérőállomás vázlatát a 2. ábra szemlélteti. A 3 fázisú aszinkron motor (M) gumidugós tengelykapcsolón (Tk) keresztül hajtja a vízgyűrűs vákuumszivattyút (V.sz.). A motorba bevezetett villamos teljesítményt mérőböröndbe (Mb) épített 3 fázisú wattmérővel mérjük. A berendezés névleges aszinkron fordulatszáma $n_{névl} = 2900/\text{min}$.



1. kép A berendezés részegységei



2. ábra A mérőberendezés vázlata

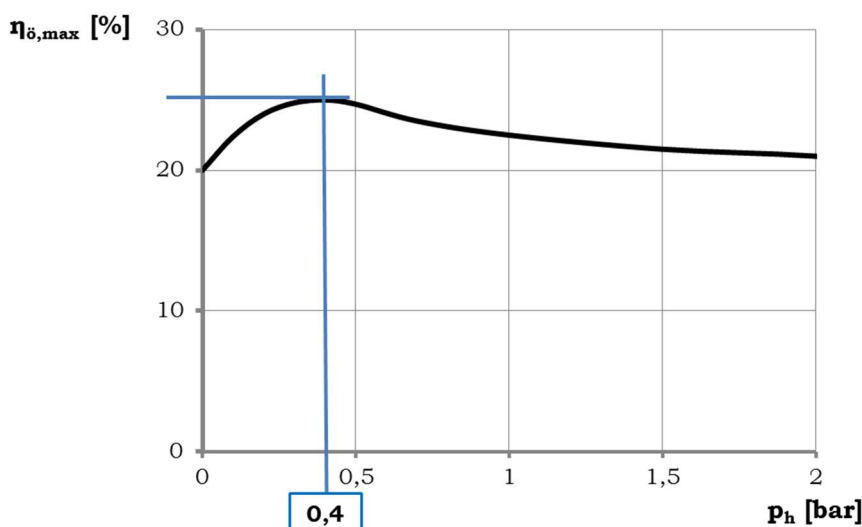


2. kép A mérőeszközök, fojtások elhelyezése

A beszívott légáram mérésére $\beta = \frac{d}{D} = \frac{15}{53}$ szűkítésű ISO1709/3-nak megfelelő beépítésű mérőperem (Mp) szolgál. A mérőperemet megelőző csőszakasz az $l_1 \geq 30D$, a követő szakasz az $l_2 \geq 5D$, szabványban előírt követelményeknek megfelel. A mérőperem mérőnyomását $\Delta p(\Delta h)$ egy U-csöves, vízzel töltött differenciálmánométer méri. A relatív mérőnyomás kis értéke miatt az expanziós szám értéke jó közelítéssel 1-nek vehető ($\varepsilon \approx 1$). A szivótorokban levő vákuumot egyik végén nyitott U-csöves higanyos manométer jelzi. Tekintettel arra, hogy itt a közvetítő közeg levegő ($\rho_{lev} \ll \rho_{Hg}$) a mért nyomáskülönbség függetlennek tekinthető a manométer magassági elhelyezésétől, így a $(p_o - p)$ nyomáskülönbség közvetlenül a higanyszint különbségekből adódik (Δh_n). Az üzemállapotok beállítására egy csap (Sz1) szolgál. A fojtás mértékének növelésével a szivótorokban levő nyomás csökken. A megkerülő vezetékbe épített golyóscsap (Sz2) használatával a kis

nyomások tartományában a fojtás mértékét finoman lehet szabályozni. A szivattyú a szabad levegőről szív és a szeparátorba, vagy vízleválasztóba (Sz) szállít. A szeparátor túlfolyója (Tf) a felesleges vizet hivatott elvezetni.

A szivattyúba vezetendő víz a hűtésre, a kis nyomás miatti kipárolgás pótlására és a tömítés funkciójának betöltésére szolgál. Itt kell megjegyezni, hogy a hálózathoz hozzávezetett víz nyomásváltozására a gép igen érzékeny. Több, állandó p_h érték mellett végzett mérés eredményeként különböző $\eta_{\delta\max}$ értéket kapunk. A p_h víznyomás paraméter és az $\eta_{\delta\max}$ hatásfokgörbe maximumok függvény-kapcsolatában szélsőérték van, amelyet a 3. ábra szemléltet.



3. ábra Vákuumszivattyú maximális hatásfok – tápvíznyomás görbéje

A maximális hatásfokok legnagyobbika esetünkben $p_h = 0,4\text{bar}$ hálózati víznyomásnál van. Ezért célszerű mérésünket e paraméter állandósága mellett elvégezni. Érdekességgé válhat megemlíteni, hogy p_h növelésével tendenciájában a végvákuum és a bevezetett teljesítmény nő, míg a beszívott térfogatáram csökken, ez a már elvégzett mérési sorozatok tapasztalataiból leszűrhető. A p_h paraméter állandó értéken tartását a beépített golyóscsap (Gcs) állításával érjük el, konkrét értékét dobozatos manométer (Dm) jelzi.

Ha a méréseket rendre különböző fordulatszámokon megismételnénk és a hatásfokgörbék azonos értékű pontjait összekötnénk, jutnánk a gép ún. kagylódiagramjához, amely a belső tulajdonságok tendenciáit még szerteágazóbban mutatná. Mivel egyrészt az alkalmazott aszinkron motoros hajtás a fordulatszám változtatásra nem ad lehetőséget, másrészt a kagylódiagram felvétele a hallgatói mérésre rendelkezésre álló időben nem végezhető el, így csak a névleges fordulatszámhoz tartozó hatásfokgörbe mérhető ki.

4. A jelleggörbékben szereplő mennyiségek számítása

4.1. Vákuumnyomás (p)

Az U-csöves higanyos manométer közvetlenül a $(p_o - p)$ értéket méri [Hg mm]-ben.

A barometrikus nyomás (p_o) mérésével (egyszer mért mennyiség) a p , p_o / p és $\frac{p_o - p}{p_o} = \frac{\Delta h_n \rho_{Hg} g}{b \rho_{Hg} g} = \frac{\Delta h_n}{b}$ független változók könnyen képezhetők.

A légköri nyomás az alábbi összefüggés segítségével írható fel:

$$p_o = \rho_{Hg} \cdot g \cdot b,$$

ahol

- $\rho_{Hg} = 13\,600$ [kg/m³],
- $g = 9,81$ [m/s²],
- b [Hg m] a barométerállás.

A laborban a barometrikus nyomást digitális barométerről lehet leolvasni, melyből a fenti összefüggés segítségével a b higanymagasság könnyedén kiszámítható.

4.2. Térfogatáram (Q)

A térfogatáram a

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_{lev}} \Delta p}$$

összefüggésből határozható meg, ahol:

- $d = 15$ [mm] a mérőperem nyílásátmérője,
- $\varepsilon = 1$ [-] az expanziós szám,
- ρ_{lev} [kg/m³] a levegő sűrűsége, $\rho_{lev} = \rho(t_o)$,
- t_o [°C] a környezeti hőfok (egyszer mért mennyiség),
- Δp [Pa] a mérőperem mérőnyomása, $\Delta p = \rho_{víz} \cdot g \cdot \Delta h$,
- $\rho_{víz} = 1\,000$ [kg/m³] a manométer mérőfolyadék sűrűsége,
- Δh [mm] a differenciálmanométer kitérése,
- α [-] az átfolyási szám.

A α átfolyási szám meghatározása iterációval történik az „Örvényszivattyú A” mérés leírása alapján, de az áramló közeg levegő, ennek a jellemzői (pl. kinematikai viszkozitás a Reynolds-számhoz) a „Ventilátor” mérés leírásában találhatóak.

A tanszéki honlapon elérhető, a tantárgyhoz kapcsolódó feladatgyűjtemény 13. fejezetében lévő kidolgozott példa megtekintése segítséget nyújt a számításhoz.

4.3. Bevezetett teljesítmény (P_{vill}), tengelyteljesítmény (P_{teng})

A bevezetett teljesítmény az alábbi összefüggésből számítható:

$$P_{vill} = C_w \cdot P_{vill}^o,$$

ahol

- P_{vill}^o [°] a wattmérőről leolvasott osztás fokokban (lásd 3. kép),
- $C_w = 8$ [W/osztás] a műszerállandó.



3. kép A mérőbörönd fontosabb elemei

A villamos motor által leadott (a vákuumszivattyúba bevezetett) teljesítmény (P_{teng}) a 4. ábrán látható diagram segítségével határozható meg. A diagramból kikeresett terhelés (x) ismeretében a tengelyteljesítmény

$$P_{teng} = x \cdot P_{névl},$$

ahol $P_{névl} = 5500$ [W] (a villamosmotor adattáblájáról).

A „ $P_{vill} - x$ ” diagramot mérlegdinamó segítségével, méréssel határoztuk meg.

4.4. Izotermikus teljesítmény (P_{iz}), hatásfok (η_{δ})

Ha a sűrítési folyamat során izotermikus állapotváltozást tételezünk fel (amit jó közelítéssel megtehetünk), akkor az izotermikus teljesítményt az 2. fejezetben megismert módon számíthatjuk⁴, azaz:

$$P_{izot} = p_o \cdot Q \cdot \ln\left(\frac{p_o}{p}\right),$$

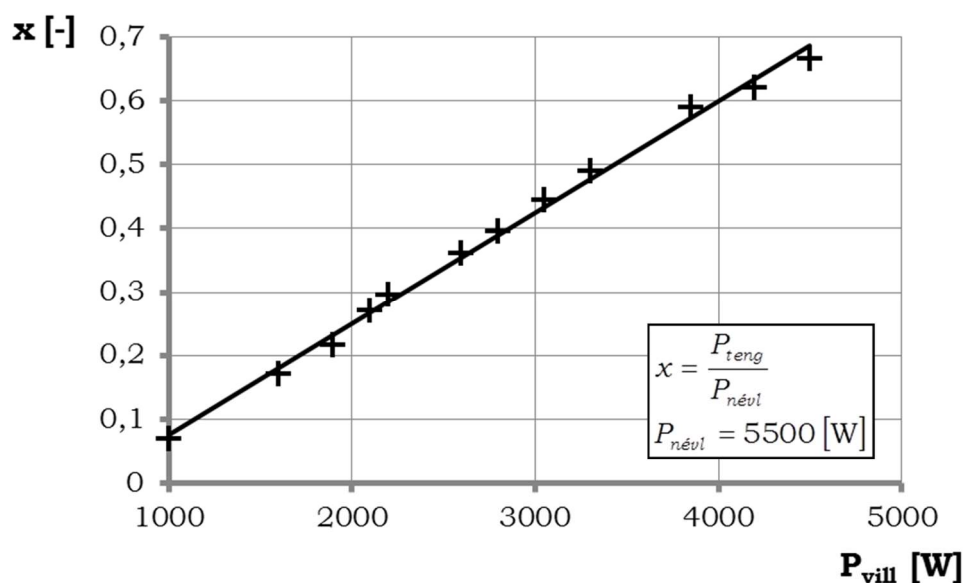
ahol

- p_o és Q összetartozó értékpárok,
- p_o és p abszolút nyomások.

A vákuumszivattyú összh hatásfokát az

$$\eta_{\delta} = \frac{P_{izot}}{P_{teng}}$$

hányados adja.



4. ábra A VZ 41/2 típusú, 708.711. számú villamos motor bevezetett teljesítmény – terhelés diagramja

⁴ A képlet ezen formájának levezetése megtalálható a mellékletben.

5. A mérőberendezés névleges adatai

Vákuumszivattyú:

- típus: EV 40/80 II. vízgyűrűs,
- $Q = 50$ [m³/h],
- $n = 2900$ [1/min],
- $t_o = 20$ [°C] (vonatkoztatási hőmérséklet),
- relatív vákuum: 30 ÷ 90 [%].

Hajtómotor:

- típus: VZ 41/2, háromfázisú aszinkron motor,
- $n_{névl} = 2880$ [1/min],
- $P_{névl} = 5500$ [W].

Mérőperem:

- $d = 15$ mm,
- $D = 53$ mm.

Mérőbőrönd:

- leltári szám: 860 – 776.

Digitális barométer:

- típus: GPB 1300.

6. A mérés

6.1. Előkészület a méréshez

1. A wattmérő (Mb) méréshatár kapcsolóját állítsuk maximumra, hogy az indítási áramlökések ne tegye tönkre a műszert.
2. Nyissuk az (Sz1) csapot, így nem fordulhat elő a higany esetleges hirtelen "beszívása".
3. Ellenőrizzük a manométerek üzemképes állapotát.
4. Üzembe helyezés után a méréshatár-kapcsolót állítsuk a megfelelő ($C_w = 8$ [W/osztás]) értékre.
5. Leállítás előtt újra nyissuk ki az (Sz1) csapot, most a higany esetleges "kilövésének" elkerülése miatt.

6.2. A mérési pontok felvétele

Kb. 15 mérési pont jó és megbízható görbemenetet ad. A higanyos manométer 0 és p_o közötti tartományát közel arányosan 15 részre osszuk be.

A gép üzeme egyes szakaszokban "nyugtalan". Ez a tény a vízgyűrű instabilitására vezethető vissza. Ilyenkor tovább időzve egy állapotnál a becsült középérték fogadható el mérési eredménynek.

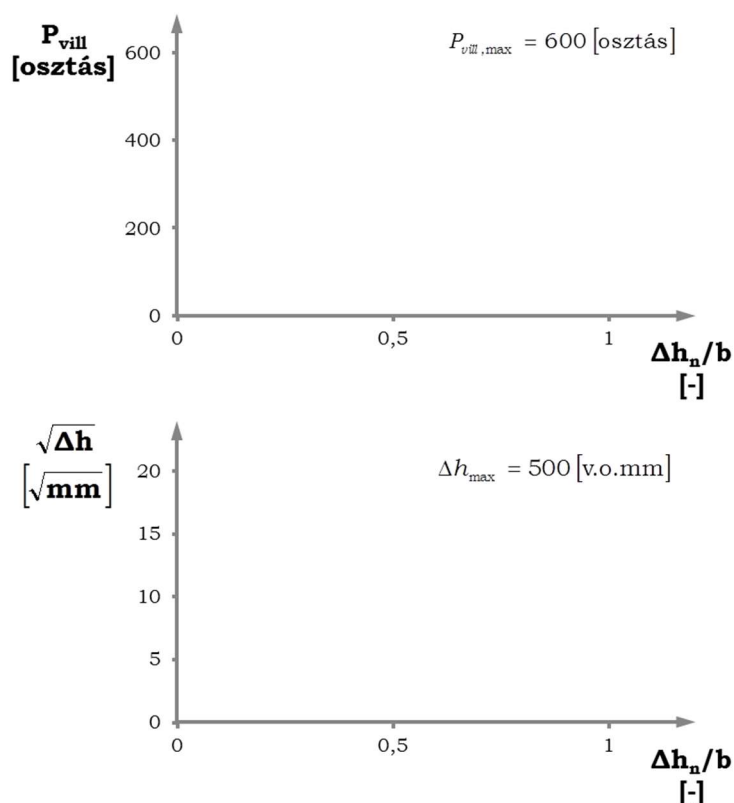
7. Felkészülés a mérésre

A mérési gyakorlatra az alábbiak szerint kell előkészülni:

- Ismerni kell ezt a mérési tájékoztatót! A mérési tájékoztató ismeretét a mérés kezdetekor beugró ZH formájában ellenőrizzük.
- Mivel a mérésvezetőnek a mérés utáni 2 hétben jegyzőkönyvet kell készítenie, ezért szükség van minden szükséges adat rögzítésére: az

otthon előkészítendő táblázat-úrlap fejlécét elő kell készíteni a mérési eredmények feljegyzéséhez és kiértékeléséhez. A táblázatnak legalább 15 sora legyen!

- A mérés során ellenőrző diagramot is készíteni kell, hogy már a mérés során követhetőek legyenek a görbemenetek, valamint az esetleges mérési hibák "visszaméréssel" történő korrigálására legyen lehetőség. Az ellenőrző diagramok felépítését az 5. ábra szemlélteti. Mindkét diagram független változója a relatív vákuummal arányos mennyiség, míg a függő változó az első esetben a bevezetett teljesítménynek, a második esetben pedig a térfogatáramnak feleltethető meg. Ábrázolásához egy A4-es milliméter papír két felét (vagy egy exceltáblát lapotopon) a tengelyek és osztások felvételével otthon elő kell készíteni!



5. ábra Az ellenőrző diagram tengelyeinek skálázása

8. Ellenőrző kérdések

1. Melyek a vákuumszivattyúk leggyakrabban alkalmazott jelleggörbéi? Ismertessen hármat!
2. Röviden ismertesse a vízgyűrűs vákuumszivattyúk működési elvét! Rajzoljon ábrát!
3. Hogyan mérjük a vákuumszivattyú által szállított térfogatáramot? Melyek a kiértékelés lépései? Ismertesse a logikai sorrendet is!

4. Hogyan számítjuk ki a vákuumszivattyú hasznos teljesítményét? Mit kell ehhez mérni?
5. Sematikusan vázolja fel a mérőberendezést!
6. Írja fel ideális gáz esetén a vízgyűrűs vákuumszivattyú izotermikus hasznos munkájának összefüggését!
7. Egy vákuumszivattyú jelleggörbe mérése során $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$ levegő szállításakor a szívócsonkba kötött higanytöltésű, U csöves manométeren 390 mm kitérés adódott. A légköri nyomás 1004 mbar . Mekkora az izotermikus teljesítmény?
8. Egy vákuumszivattyú izotermikus teljesítménye 454 W . Ekkor a szivattyú-motor gépcsoport felvett villamos teljesítménye 4150 W . A hajtómotor névleges teljesítménye $5,5 \text{ kW}$, bevezetett teljesítménye és terhelési foka között az alábbi kapcsolat áll fenn:

$$x[-] = 1,753 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\text{vill}} [W] - 0,1153 [-].$$

Mekkora a vákuumszivattyú összhatásfoka?

9. Írja fel a vákuumszivattyú összhatásfokának összefüggését! Ismertesse a nevezőben szereplő teljesítmény meghatározásának menetét!
10. Rajzolja fel jelleghelyesen a vákuumszivattyú összhatásfokát a tápvíznyomás függvényében! Miért fontos ez a diagram?

9. Méréshez kapcsolódó otthoni feladatok

1. A mérés tárgyát képező vízgyűrűs vákuumszivattyú $\eta_o((p_o-p)/p_o)$ jelleggörbéjének pontjait
 - a) harmadfokú,
 - b) másodfokúpolinommal közelítve határozza meg az optimális üzemi pont jellemzőit (p_{opt} , Q_{opt} , $\eta_{o,opt}$)!
2. Számítsa ki az izotermikus hasznos teljesítmény, a térfogatáram és az összhatásfok értékét, ha a relatív vákuum értéke
 - a) $45, 55\%$;
 - b) $70, 80\%$!
3. Egy tartályban $0,35 \text{ bar}$ állandó abszolút nyomású $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű levegő van. Mennyi idő alatt szállít el a vákuumszivattyú ebből a tartályból
 - a) $0,45 \text{ m}^3$ $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű,
 - b) $0,8 \text{ m}^3$ $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű, 1 bar abszolút nyomású levegőt?

Melléklet – Az izotermikus teljesítmény alakjának levezetése

Az izotermikus teljesítmény:

$$P = p_1 Q_1 \ln \frac{p_2}{p_1},$$

ahol az „1” és „2” indexek rendre a szívó- és nyomócsonk adatait jelölik. Az izotermikus állapotváltozás egyenletét felhasználva a szívócsonkbeli sűrűség:

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \text{ vagy sűrűséggel } \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2}.$$

Ebből

$$\rho_1 = \rho_2 \frac{p_1}{p_2}.$$

Felírva a kontinuitási egyenletet, kifejezhető a nyomócsonk térfogatárama a szívócsonki függvényében:

$$Q_1 = \frac{\dot{m}}{\rho_1} = \frac{\dot{m}}{\rho_2} \frac{p_2}{p_1} = Q_2 \frac{p_2}{p_1}.$$

Ezzel

$$P = p_1 Q_1 \ln \frac{p_2}{p_1} = p_1 Q_2 \frac{p_2}{p_1} \ln \frac{p_2}{p_1} = p_2 Q_2 \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

A mérőberendezésben $p_2 = p_0$ és Q_2 a légköri állapotú levegő térfogatáram, azaz

$$P_{izo} = p_0 Q \ln \frac{p_0}{p}, \text{ tehát a képlet } \mathbf{jó!}$$