

M8

KÜLÖNBÖZŐ ALAKÚ PILLANGÓSZELEPEK VESZTESÉGTÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA

1. A mérés célja

A légvezeték rendszerek igen széles körben használatosak. Ahol a természetes szellőzés nem ad elegendő friss levegő utánpótlást, ott szükséges a mesterséges szellőztetés. Irodaházakban, lakótömbökben, szállodákban, kollégiumokban stb. a megfelelő szellőzést csak mesterséges szellőzéssel, esetleg klímatalálással lehet csak elérni.

Gazdaságossági, környezetvédelmi, műszaki és egyéb szempontok alapján célszerű egy működtető ventilátorra több elszívási, vagy befúvási helyet telepíteni. Sok esetben 20-50, de akár száz betáplálási, vagy elvételi hely is kialakítható. A helyiségek adott friss levegő igényét csak megfelelő csővezetékrendszer és az abba beépített szabályzók segítségével lehet biztosítani. A szabályzók legtöbb esetben az áramlás útjában elhelyezett szabályozható áramlási ellenállással rendelkező fojtások.

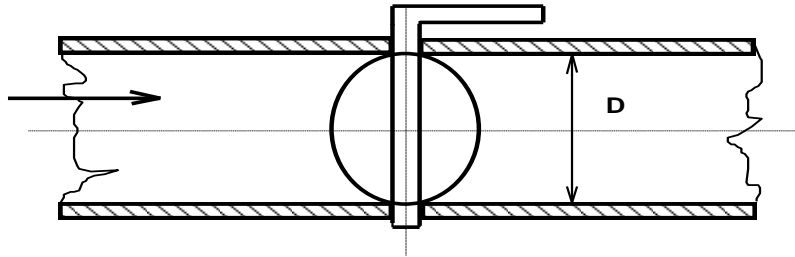
A beépített szabályzók lehetőséget teremtenek egyes ágak kiiktatására, a tervezett térfogatáram érték beállítására, módosítására stb.

A jelen feladatunkban a felhasználó által tetszés szerint változtatható szabályzókat, hengeres csőbe építhető pillangószelepeket vizsgálunk. A pillangószelep kívülről általában kézzel, vagy szabályzó motorral mozgatható szeleptányérral rendelkezik, így a nyitás/zárás során az eredeti áramlási keresztmetszetet és ezáltal az adott csővezeték ág áramlási veszteségét változtathatjuk, mellyel a kívánt térfogatáram beállítható. A szeleptányér egy adott helyzetben

(szögállásban) rögzíthető. Vannak olyan típusok, amelyek teljesen el tudják zárni az áramlási keresztmetszetet, vannak olyanok, amelyek nem (pl. perforált szeleptányér esetében).

Fontos szempont, hogy a pillangószelep milyen érzékenyen képes szabályozni a csőben kialakuló térfogatáramot. Általában a teljes zárás környezetében nagyon kis elfordításra nagyon sokat változik a térfogatáram, a teljesen nyitott helyzetben pedig kis elfordítás szinte semmit nem változtat a térfogatáramon. (A vízcsaphoz hasonlóan viselkedik.)

Az 1. ábra egy pillangószelep sematikus ábráját mutatja. A csövön kívüli karral szabályozható a csőben lévő kör alakú szelep. (jelen állapotban teljesen nyitva)



1. ábra: Pillangószelep sematikus ábrája

A méréshez többféle alakú pillangószelepet készítettünk. A feladat ezeknek a szelepeknek a karakterisztikájának felvétele, vagyis a veszteségtényezőnek a zárási szög függvényében történő meghatározása.

Mi a pillangószelep karakterisztikája?

A pillangószelep tányért a hozzá rögzített szár elfordításával pl. a teljesen nyitott állapothoz képest adott " β " szöggel elfordítva a szelep veszteségtényezője ($\zeta_{pill.sz.}$) megváltozik.

Többféle karakterisztika is használatos a szelepek és csapok jellemzésére. Használatuk attól függ, hogy vizes vagy levegős, nagyobb vagy kisebb nyomású-e a rendszer.

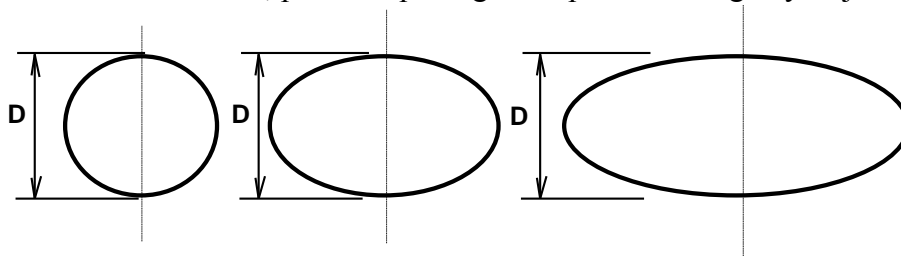
Mi az egyik legáltalánosabban használható karakterisztikát mérjük meg. Karakterisztikának a szelep veszteségtényezőjének ($\zeta_{pill.sz.}$) változását nevezzük a zárási szög (β) függvényében.

Ennek előnye az egyéb típusú karakterisztikákkal szemben, hogy dimenziótlan jellemzőket tartalmaz, és így a közegetől, közeg sebességétől és az átmérőtől széles határok között közelítően független.

A szelepekre egyéb jellemzőket is szokás megadni pl. a szög függvényében adott (pl. 100) Pa nyomáskülönbség hatására mekkora térfogatáramot enged át. Vagy ennek a fordítottja is: pl. adott térfogatáram átérésztésekor mekkora nyomásesés következik be.

Általában, ha a $\zeta_{pill.sz.} = \zeta_{pill.sz.}(\beta)$ kapcsolatot ismerjük, akkor a legtöbb esetben a többi karakterisztika is számítható. A β szög a pillangószelep nyitott állapotában zérus, a pillangószelep mozgató szára párhuzamos a csőtengellyel.

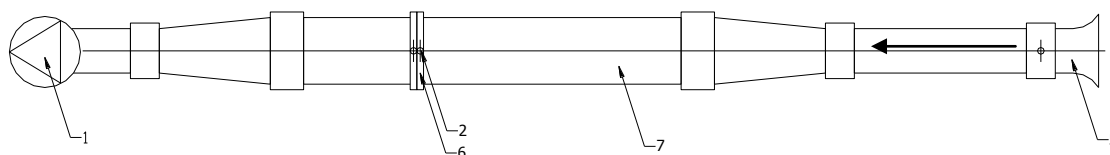
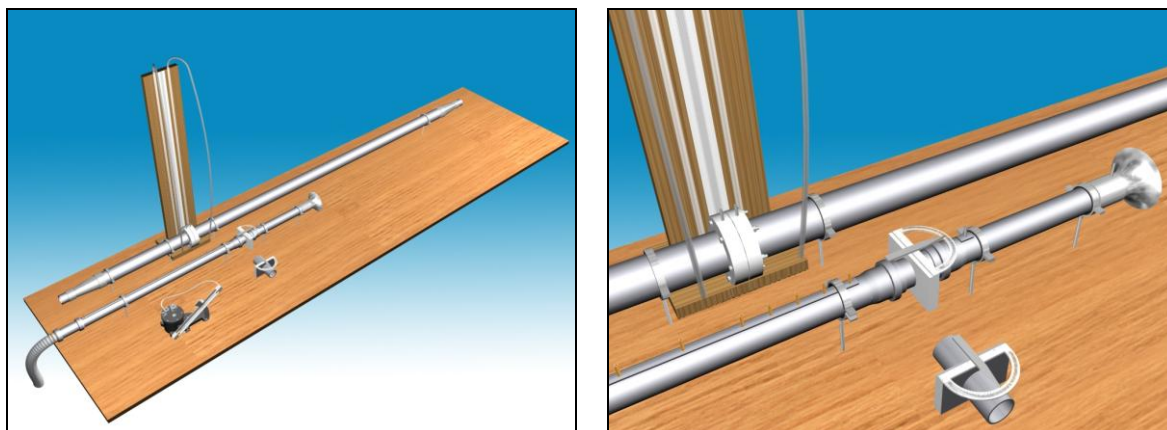
A mérés során többféle alakú pillangószelep tányér karakterisztikáját mérjük meg: ezek az alábbi ábrán látható kör és ellipszis alakú tányérral rendelkeznek. Továbbá vizsgálható különböző kialakítású kör alakú, perforált pillangószelepek veszteségtényezője is.



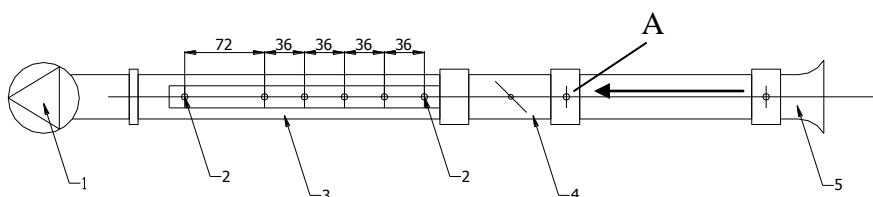
A mérés fő célja a különböző pillangószelepek karakterisztikájának a kimérése.

2. A mérőberendezés leírása

Az elemeket az alábbi ábrán lévő berendezésben tudjuk mérni.



1 ábra: Kalibráló berendezés



2 ábra: Pillangószelep veszteségtényező mérőszakasz

A működtető ventilátor (1) szívó oldalára felszerelt mérőcső elején egy beszívóelemet (5) találunk. Ez szolgál a berendezésen átáramló levegő térfogatáramának mérésére. A mérés során a beszívóelemet kalibrálni kell (1. ábra), amelynek menetét egy későbbi fejezet írja le. (A ventilátorhoz vezető csövön található lukat ne ragasszuk le, mivel az teljes elzárás ellen védi a rendszert!)

A beszívóelem a pillangószelepet tartalmazó csőhöz (4) csatlakozik. A beszívóelem után, ezen a csövön a pillangószelep előtt található egy statikus nyomáskivezetés („A” pont). A pillangószelep másik oldalára a mérőszakaszt (3) kell kapcsolni, amelyen több nyomásmérő pont is van. Azért van szükség több nyomásmérési pontra a szelep után, mert az áramlás már kis szelep állásszögnél is leválik a pillangószelepről, így a leválási buborék miatt lecsökken az áramlás „egészséges” keresztmetszete. Szükség van tehát egy relaxációs csőszakaszra, amiben az áramlás újra a teljes keresztmetszetet kitölti. A nyomásmérési furatokon ezt a jelenséget mérhetjük, a nyomás egy szakaszon az áramlás irányában nőni fog (miután az áramlási keresztmetszet növekedésével csökken a sebessége), majd attól a ponttól, ahonnan a teljes keresztmetszetet újra kitölti az áramlás, a súrlódás következtében kismértékben csökken. A kiértékelés során meg kell keresni azt a pontot a csőhossz mentén, ahol a pillangószelep után

maximális a nyomás („C” pont helye). A veszteségtényező számításához a „C” pontbeli nyomás és a pillangószelep előtti nyomás („A” pont) különbsége ($p_A - p_C$) szükséges.

Megj.: Mivel a mérésnél célszerű rögtön a $p_A - p_C$ nyomáskülönbséget mérni, a fenti megfontolást átültetve a nyomások különbségére a következőket kapjuk: a relaxációs szakaszban a nyomások különbsége csökken, majd egy minimumot elérve fokozatosan nő. Természetesen, ha olyan a szelep állása, hogy alig van leválás, a relaxációs szakasz kimarad és a nyomások különbsége folyamatosan növekedni fog.

3. A mérés elve, a mérendő mennyiségek

A veszteségtényezők kiszámítása:

A veszteséges Bernoulli-egyenletet használjuk a veszteségtényezők meghatározásához.

Írjuk fel az egyenletet az "A"-tól (a pillangószelep előtti mérőkeresztmetszet) a "C" pontig (a pillangószelep utáni mérőkeresztmetszet, ahol a nyomás maximális)

$$p_A + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = p_C + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \zeta_{pill.sz.} + \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \left[\frac{L}{D} \cdot \lambda + \zeta_{cs} \right]$$

Az egyenletben "v" a csőben lévő átlagsebesség;

" $\zeta_{pill.sz.}$ " veszteségtényező

"L" két mérési pont közötti távolság

"D" csővezeték belső átmérője. (Ez a méret eltér a későbbiekben említett mérőperem előtti csőátmérőtől. Itt az értéke 36.4 mm)

" λ " csősúrlódási tényező

" ζ_{cs} " az üres csőszakasz csatlakozások veszteségtényezője

" ρ " levegő sűrűség

A csővezeték súrlódási veszteségére jellemző $\frac{L}{D} \cdot \lambda$ érték, illetve a csőcsatlakozások veszteségei (ζ_{cs}) a pillangószelep veszteségei mellett elhanyagolhatóak, tehát:

$$\left[\frac{L}{D} \cdot \lambda + \zeta_{cs} \right] \cong 0$$

Az egyenletekben szereplő $\zeta_{pill.sz.}$ veszteségtényezőt fejezzük ki

$$\zeta_{pill.sz.} = \frac{p_A - p_C}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2}$$

A képletekben szereplő nyomásokat a csővezeték oldalán lévő kivezetéseken mérhetjük mikromanométer vagy digitális manométer segítségével.

A "v" átlagsebességet a beszívóelemmel mért mennyiségekből számítjuk az aktuális cső keresztmetszettel.

Fontos mérési feladat lesz a pillangószelep előtt és után kialakuló nyomáslefutás hely szerinti ábrázolás is. Így ábrázolni kell a nyomás változását a hossz függvényében, amely tájékoztat a fojtóelem körül kialakuló áramlásról. is, valamint ezekből a diagramokból választhatjuk ki az "A" és a "C" pont helyét.

4. A mérés lefolytatása

A beszívóelem kalibrálása

Miután a térfogatáramot nem szabványos eszközzel – egy beszívóelemmel – mérjük, azt szabványos eszközhöz kell kalibrálni.

A beszívóelem térfogatáramának számító képlete a következő:

$$q_v = k \frac{d_b^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} \Delta p_b}$$

ahol

- k beáramlási tényező
- d_b beszívó elem belső átmérője (Itt az értéke 36.4 mm)
- ρ_1 áramló közeg sűrűsége
- Δp_b a beszívóelemen mért nyomásesés

A beszívóelem beáramlási tényezőjét a kalibrálócső (1. ábra) segítségével határozhatjuk meg. A kalibrálócső tartalmaz egy szabványos mérőperemet, amin áramló térfogatáramot szabványban rögzített módszerrel tudunk meghatározni. A kalibrálás során különböző térfogatáramokon kell megmérni a mérőperem és a beszívóelem nyomásesését. A mérőperem nyomáseséséből meghatározható a szállított térfogatáram, amit összevetve a beszívóelem nyomásesésével meghatározható annak a beáramlási tényezője. A beáramlási tényező meghatározását legalább három térfogatáramon végezzük el, majd hasonlítsuk össze a kapott értékeket. A berendezésen beállítható viszonylag kis Re-szám tartomány miatt Re-szám függőséget nem tapasztalunk, ezért a három esetben kiszámolt átfolyási szám közel azonos értékű lesz. Az átlagértéküket felhasználva ezek után már alkalmas a beszívóelem térfogatáram mérésre.

Megjegyzés:

A kalibráció folyamata egy általános esetben csupán annyiból állna, hogy az összetartozó adatokból (pl. itt a mérőperemen meghatározott térfogatáram – beszívóelem nyomásesése) ún. kalibrációs diagramot szerkesztünk. Ilyenkor a beszívóelem nyomásesése alapján meghatározni kívánt térfogatáramot minden egyes esetben a diagramról tudnánk leolvasni. Mivel itt azonban lehetőségünk van a kalibrációt egy paraméter – beszívóelem beáramlási tényezője – meghatározására visszavezetni, a kalibrációs diagramot nem szükséges megszerkesztenünk.

A mérőperemen átfolyó térfogatáram számítási képlete:

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} \Delta p}$$

ahol

- C átfolyási tényező
- β mérőperem átmérőviszony (itt $\beta=0,6587$)
- ε kompresszibilitási tényező ($\varepsilon=1$, mivel a közeg nyomásváltozása csekély)
- d mérőperem furatátmérője (itt $d=38.8\text{mm}$)
- Δp a mérőperemen mért nyomásesés

C átfolyási tényező számítási képlete:

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \left(\frac{10^6 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A)\beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{0,3} + 0,011(0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{0,0254} \right)$$

ahol Re_D a mérőperem előtti csőátmérővel számolt Reynolds-szám (itt $D=58.9\text{mm}$), illetve a C átfolyási tényezőben az „A” érték, mely $A = \left(\frac{19000\beta}{Re_D}\right)^{0.8}$ alapján számítható.

Iteráció

Mivel a Reynolds-szám a sebesség függvénye, a sebesség pedig az átfolyási tényezőé, ami pedig a Reynold-szám függvénye, a feladat megoldásához iterációt kell alkalmaznunk.

Legyen az átfolyási szám az első iterációs ciklusban $C=0,6$. Határozzuk meg a térfogatáram értékét az adott átfolyási szám mellett, számoljuk ki a sebességet a mérőperem előtt, számoljunk Reynolds-számot, majd határozzuk meg az átfolyási szám értékét a fenti képlet segítségével.

1. lépés

$$C' \rightarrow q_{v'} \rightarrow v' \rightarrow Re_{D'} \rightarrow C''$$

2. lépés

$$C'' \rightarrow q_{v''} \rightarrow v'' \rightarrow Re_{D''} \rightarrow C'''$$

stb.

Az eredmények gyorsan konvergálnak. Akkor tekinthetjük a kapott C átfolyási tényező értéket véglegesnek, ha egy iterációs lépésen belül a kezdeti és végső érték eltérése kisebb, mint 1-2%.

Az átlagsebesség számítása

A beszívóelem segítségével tudjuk az aktuális pillangószelep állásnál megmérni a csövön átáramló mennyiséget. Az átlagsebesség meghatározható a térfogatáramból:

$$v = \frac{q_v}{A}$$

q_v a szállított térfogatáram

A a cső belső keresztmetszete

A " ρ ", a levegő sűrűsége a mindenkori környezeti jellemzőkből számítható:

$$\rho = \frac{p_0}{R \cdot T}$$

ahol p_0 a mindenkori barometrikus nyomás, $R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$ és T az aktuális levegő hőmérséklet K-ben mérve.

5. A mérés kiértékelése:

A méréseket legalább háromféle pillangószelep tányérra kell elvégezni. A pillangószelep zárási szögének függvényében, azt átlagosan 10^0 -onként változtatva meg kell határozni a pillangószelep veszteségtényezőjét. Ettől eltérhetünk a szélső helyzetekben, teljesen nyitott állapot közelében a karakterisztika keveset változik, így lehet durvább a felbontás (pl. 15 fok), zárás környékén viszont célszerű jobb felbontást alkalmazni (pl. 5 fok).

- A kiértékelés során ábrázolni kell az egyes pillangószelepek állásszög – veszteségtényező karakterisztikáit egy diagramban! (x tengelyen: β állásszög, y tengelyen: $\zeta_{pill.sz.}$ veszteségtényező). A nyitott állapot $\beta = 0^\circ$ állásszöghöz tartozzon.

- A hosszmentén mért nyomáskülönbség diagramokat minden szelep esetén az összes zárási szögnél (x tengely: nyomáskivezetés helye, y tengely: leolvasott nyomáskülönbség.) kell bemutatni.

Hibaszámítás:

A pillangószelep veszteségtényező kifejezése, és az abszolút hiba számítása:

$$\zeta_{pill.sz.} = \frac{\Delta p_{\delta}}{\frac{\rho_k}{2} v^2}$$

A mért mennyiségekkel kifejezve: abszolút hiba:

relatív hiba:

$$\zeta_{pill.sz.} = \frac{\Delta p_{\delta}}{k^2 \cdot \Delta P_b} \quad \delta \zeta_{pill.sz.} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial \zeta_{pill.sz.}}{\partial X_i} \right)^2} \quad \frac{\delta \zeta_{pill.sz.}}{\zeta_{pill.sz.}} = ?$$

ahol az X_i mért mennyiségek és a hozzájuk kapcsolódó mérési hibák:

$X_{1,2} = \Delta h$, illetve a ferde- v. görbecsöves manométer leolv. hibája $\delta \Delta h = 0.001 m$

Vagy amennyiben digitális nyomásmérő műszerrel mérünk:

$X_{1,2} = \Delta p$, illetve a digitális manométer hibája $\delta \Delta p = 2 Pa$

A hibaszámítás értékét alkalmazni kell a közölt diagramokban és táblázatokban.

(pl. $\zeta_{pill.sz.} = \# \pm 0.1$)

A mérés során nem szabad megfeledezni

- A mérőberendezés bekapcsolása előtt, illetve általában a mérőberendezés üzeme során mindig meg kell győződni a balesetmentes használat feltételeinek teljesüléséről. A bekapcsolásról, illetve a mérés közben végrehajtott változtatásokról a berendezés környezetében dolgozókat figyelmeztetni kell.
- Minden mérési alkalommal a légköri nyomás és teremhőmérséklet feljegyzéséről a mérés előtt és után!
- A felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a rájuk vonatkozó egyéb tényezők (Például a ferdecsőves mikromanométer mérőszál ferdtítési tényezője.) feljegyzéséről.
- A felhasznált mérőműszerek típusának, gyártási számának és a benne lévő mérőfolyadék sűrűségének feljegyzéséről!
- A mérőműszerről leolvasott mennyiségek és a további számításoknál felhasznált mennyiségek mértékegységének egyeztetéséről.
- Az "U-csőves" nyomásmérő elvén működő mikromanométerek csak megfelelően kivízszintezve használhatók.
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Általában mindegyik manométer típusnál, de kiemelten a ferdecsőves manométernél, figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csonkjaira a gumi csövet óvatosan, "ráközelítve", a mérőfolyadék szál viselkedését figyelemmel kísérve kell felhelyezni. Ha bekötőcsövek tömör rögzítése előtt a mérőfolyadék szál kitérése megközelíti a maximális kitérést, úgy ha lehet méréshatárt kell változtatni a műszeren, ha ez nem segít, akkor nagyobb nyomások mérésére alkalmas műszert kell választani a méréshez. Ellenkező esetben a mérőfolyadék egy része a bekötőcsőbe áramlik meghamisítva, esetleg teljesen lehetetlenné téve a mérést.
- A mérőperem felszerelésénél vigyázni kell a légtömör szerelésre, mert az esetlegesen kialakuló réseken távozó illetve beáramló levegő jelentősen elronthatja a mérések eredményeit.
- A nyomásközlő gumi, vagy szilikon csöveket mérés előtt, esetleg közben is célszerű ellenőrizni, nehogy repedés, szakadás legyen rajtuk, mert lyukas mérőcső esetén az összes addigi mérési eredmény kárba vész. Az ellenőrzést szemrevételezéssel, vagy nyomástartási próbával végezhetjük el. Kritikus helyek a műszerekre, ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.

Irodalom

Veszteséges áramlás

[1] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai /10. fejezet: Hidraulika/

Nyomásmérés manométerrel

[2] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004-es és 2008-as kiadás) 229. oldal

Térfogatáram mérése beszívó mérőperemmel

[3] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004-es és 2008-as kiadás) 246. oldal