



Mérési segédlet

H02

Kapulégfüggöny kísérleti vizsgálata

HŐ- ÉS ÁRAMLÁSTAN

BMEGEÁTMG01



1 BEVEZETŐ

A légfüggönyöket két, különböző nyomású vagy hőmérsékletű tér elválasztására használják. [1] Szerepük igen jelentős, mivel a hőveszteség csökkentését teszik lehetővé anélkül, hogy a hozzáférést gátolnák. Ilyen légfüggönyök találhatók például bevásárlóközpontok bejáratánál, üzemcsarnokok és hűtőházak kapujában is. A mérés célja egy ilyen légfüggöny vizsgálata H02-es mérőberendezésen. A feladat során a bemenő paraméterek változtatásával különböző állapotú és tulajdonságú légfüggönyöket lehet létrehozni, majd azok viselkedését tanulmányozni mind kvalitatív (áramlás megjelenítése), mind kvantitatív (számítások) szempontból.

A segédlet elolvasása előtt feltétlenül ajánljuk Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai című tankönyvből alaposan áttanulmányozni a következő fejezeteket: az impulzustétel [2]; sík szabadsugarak és tulajdonságaik [3]; kapulégfüggönyök és működésük [1]. Ezen kívül érdemes felidézni az alapvető áramlástanai mennyiségek mérésére szolgáló eszközöket, működési elvüket, és a hozzájuk kapcsolódó kiértékelő képleteket [4]. Ezeket az anyagrészeket ismertnek tételezzük fel.

2 A MÉRÉS SORÁN SZEREPLŐ MENNYISÉGEK ÉS HASZNÁLT JELÖLÉSÜK

- p_k külső nyomás (Pa)
- p_b belső nyomás (Pa)
- Δp a külső és belső nyomás különbsége (Pa)
- ρ a levegő sűrűsége (kg/m^3)
- R a szabadsugar görbületi sugara (m)
- R_t a szabadsugar tengelyének görbületi sugara (m)
- v_0 a szabadsugar kezdeti sebessége (m/s)
- s_0 a kifúvó rész mérete (m)
- b a lezárt nyílás mérete (m)
- β a szabadsugar kezdeti érintője és a nyílás síkja által bezárt szög ($^\circ$)
- $B = b/s_0$ dimenziótlan résméret (-)
- $D = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} v^2}$ nyomástényező (-)

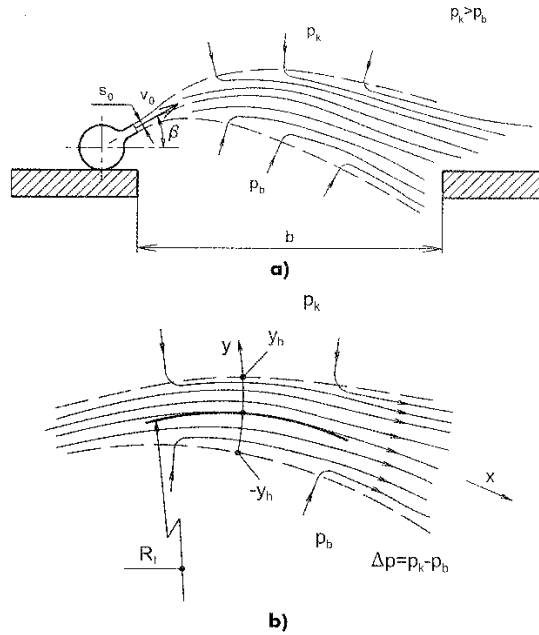
3 ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÓ A MÉRÉSHEZ ÉS KIÉRTÉKELÉSHEZ

3.1 ELMÉLET

A kapulégfüggönyök vizsgálatánál [1] erősen támaszkodunk az impulzustételre [2]. Részletes levezetésért lásd [1].

A kapulégfüggöny úgy tart egyensúlyt a belső p_b és a külső p_k nyomás különbségéből eredő Δp nyomáskülönbséggel szemben, hogy az áramvonalak eközben meggörbülnek és így tudják – jó méretezés esetén – lezárni a b szélességű nyílást. Görbült áramvonalak esetén a nyomás változását a normális irányú Euler-egyenlettel tudjuk leírni:

$$\frac{v^2}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (1)$$



1. ábra. Kapulégfüggöny működése (a), áramlási keresztmetszete (b) [1]

Válasszuk szét a fenti differenciálegyenletet és vezessük be az y koordinátát, ami az áramvonalra merőleges, $y = 0$ épp a szabadsugar tengelyénél, míg a szabadsugar szélessége $-y_h$ -tól y_h -ig terjed.

$$\int_{p_b}^{p_k} dp = \int_{-y_h}^{y_h} \rho \frac{v^2}{R} dy \quad (2)$$

Tegyük fel, hogy a légfüggöny görbületi sugara nem változik rá normális irányban, ami a kis széttartás miatt elfogadható közelítés. Ekkor $R = R_t$ a tengelyben mért görbületi sugár; y szerint állandó. Az integrálás elvégezve a következőt kapjuk:

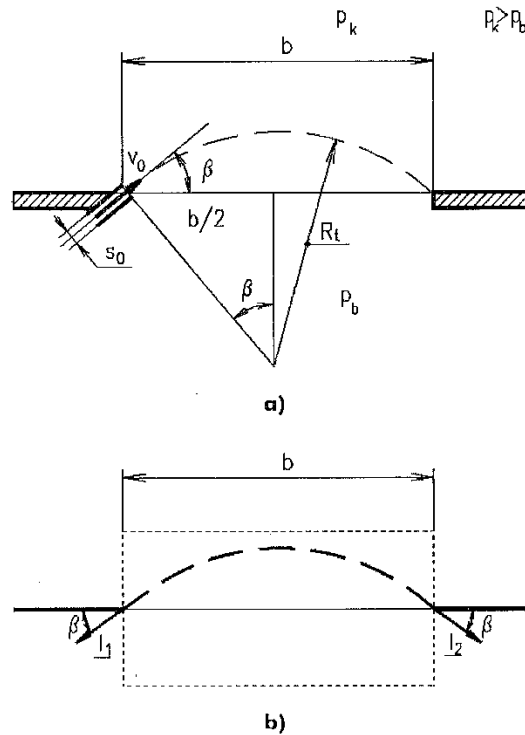
$$\Delta p = p_k - p_b = \frac{1}{R_t} \int_{-y_h}^{y_h} \rho v^2 dy \quad (3)$$

Felhasználva a belépési keresztmetszet adatait:

$$\Delta p = \frac{\rho v_0^2 s_0}{R_t} \quad (4)$$

Tehát R_t görbületi sugár az ívhossztól is függetlenül állandó, azaz a szabadsugar által leírt vonal egy körív. Ebből a nyílás szélessége egyszerű geometriai megfontolások alapján

$$b = 2 \frac{\rho v_0^2 s_0}{\Delta p} \sin \beta \quad (5)$$



2. ábra. A légfüggöny geometriája (a), és az áramlási szögek és távolságok (b) [1]

A kilépésre és belépésre írt impulzustétel alapján

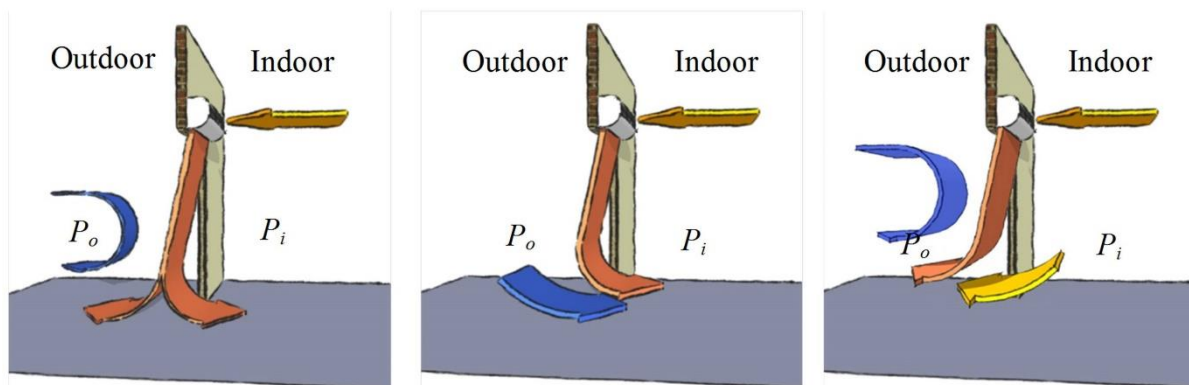
$$2 \rho v_0^2 s_0 \sin \beta = \Delta p b \quad (6)$$

Az összefüggést dimenziótlanítva a következőt kapjuk:

$$B = \frac{K}{D} \sin \beta \quad (7)$$

3.2 ÜZEMÁLLAPOTOK

A mérés során rendelkezésre álló kapulégfüggöny-modellen három alapvetően különböző üzemállapotot állíthatunk be: ezeket nem szivárgó, befelé szivárgó és kifelé szivárgó légfüggönynek fogjuk hívni. Szivárgás alatt itt a kapulégfüggönyön áthaladó eredő térfogatáramot értjük. Egy nem szivárgó légfüggöny esetében (rendellenes üzemállapot esetén) lehetséges, hogy a kapu különböző részein befelé- vagy kifelé áramló közeget találunk, de az eredő térfogatáram nulla.



3. ábra. Optimális (balra), befelé szivárgó (középen) és kifelé szivárgó (jobbra) légfüggöny. [5]

3.2.1 Nem szivárgó légfüggöny

A belső tér szívócsonkját lezárjuk, a kapun áthaladó eredő térfogatáram nulla. Ezt az üzemállapotot, melyet az irodalom [1] tárgyal, és amelynek viszonyait – névleges működés esetén – ismerjük, referenciának tekintjük, a mérési eredményeket ezzel hasonlítjuk össze.

3.2.2 Kifelé szivárgó légfüggöny

A belső tér szívócsonkját kinyitjuk, ekkor a szabadsugár a belső tér levegőrészeit magával ragadva, a szívócsonkon át a belső téren keresztülhalad, majd abból a kapulégfüggönyön át kifelé távozó, eredő térfogatáramot hoz létre.

3.2.3 Befelé szivárgó légfüggöny

A belső tér szívócsonkjára egy a levegő elszívására, vagyis nyomáskülönbség létrehozására képes áramlástechnikai gépet kötünk. Ezzel olyan nyomásviszonyokat hozunk létre, hogy valamennyi levegő a szabadsugárból és a külső térből a kapun keresztül a belső téren áthaladva a szívócsonkon fog távozni. Ekkor tehát a kapulégfüggönyön át befelé haladó eredő térfogatáram jön létre.

3.3 RENDES ÉS RENDELLENES ÜZEMÁLLAPOTOK FELISMERÉSE

Rendes üzemállapot során a kapulégfüggönyt alkotó szabadsugár a kapu falához tapad (a Coanda-effektus következtében) és ez az állapota stabil. A beállított kapuszög meghatározza a szabadsugár alakját, elsősorban görbületi sugarát, ebből pedig kialakul a belső és külső tér közti nyomáskülönbség.

Rendes üzemállapotban a kapulégfüggöny nem szivárgó. Amennyiben a szivárgás térfogatárama kis mértékű a légfüggöny befúvásnál fellépő térfogatáramához képest, úgy feltételezhetjük, hogy a légfüggöny rendes üzemállapotban van, és a rendes üzemállapotnak megfelelő képletek érvényesek maradhatnak.

Rendellenes üzemállapot lép fel nem szivárgó kapulégfüggönynél, ha a kapuszög vagy a kapuszélesség túl nagy, ezért a szabadsugár nem tud a kapu falához tapadni és stabil görbületű alakot felvenni. Ekkor a szabadsugár csapkodhat (ingadozó nyomáskülönbséget létrehozva), vagy stabilan elválhat a falról és kiegyenesedhet. Ez utóbbi üzemállapotban a belső és külső tér nyomáskülönbsége nullává válik.

Szintén rendellenes üzemállapot lép fel akkor, ha a szivárgás mértéke számottevő, hiszen ekkor a rendes üzemállapot elméletében tárgyalt impulzusáram-viszonyokhoz képest jelentős eltérés tapasztalható. Erős befelé szivárgáskor a szabadsugár a belső tér felé görbül, és az elszívócsonkon keresztül távozik, a nyomásviszonyok bonyolultak. Erős kifelé szivárgáskor a szabadsugár nem görbül



meg, mivel a szívócsonkon keresztül a külső és belső tér nyomáskülönbsége ki tud egyenlítődni, ekkor a nyomásviszonyok mellett elsősorban a térfogatáram-viszonyok az érdekesek.

3.4 MÉRENDŐ MENNYISÉGEK

A feladat során mérendő mennyiségek a következők:

- a p_k környezeti nyomás és T_k hőmérséklet, ebből számítva a levegő ρ sűrűsége
- jet Δp_d dinamikus nyomása, ebből számítva a szabadsugar sebessége, térfogatárama és impulzusárama
- s_0 résszélesség
- b kapuszélesség
- β kapuszög
- Δp nyomáskülönbség a kültér és beltér között, melyből számítható a kapulégfüggöny R_t görbületi sugara
- szivárgó légfüggöny esetén a szívócsonkhoz illesztett beszívó mérőtölcséren mérhető Δp_{mp} nyomáskülönbség, ebből számítva a szivárgó q_{sz} térfogatáram.

4 MÉRÉSI FELADATOK

4.1 NEM SZIVÁRGÓ KAPULÉGFÜGGÖNY

A belső tér szívócsonkjának lezárásával és az esetleges rések szigetelésével hozzon létre nem szivárgó légfüggönyt!

Végezze el a bemenő és kimenő paraméterek mérését a következő parametrikus vizsgálattal:

- a környezeti abszolút nyomás és hőmérsékletét a mérés elején és végén mérje le, az átlagból számítsa a levegő sűrűségét.
- jet dinamikus nyomását állítsa a mérőkocsi által megengedett maximális értékre, a mérés során Pitot-csővel előre választott rendszeres időközönként a rés három pontjában mérje a dinamikus nyomást, ezekből térbeli átlagolás után számítsa az újramérések közti időszakra vonatkozó dinamikus nyomást, sebességet, térfogatáramot és impulzusáramot.
- a résszélesség értékét az elején állítsa be fixen egy kis értékre úgy, hogy az a felhasznált Pitot-cső átmérőjénél még nagyobb legyen.

A kapuszélesség és kapuszög változtatásával állítson be különböző üzemi állapotokat, és mérje meg a bel- és kültér közti nyomáskülönbséget! A modell által megengedett kapuszélesség-kapuszög tartományban legalább 20, egyenletesen elosztott pontot vegyen föl! Ezután – ha talál a nyomáskülönbség szempontjából különösen viselkedő paramétertartományt, azok környezetében újabb 20 pontot állítson be! Összesen legalább negyven üzemi állapotot mérjen!

- Vizualizálja a légfüggöny működését lézersík és a környezetbe fecskendezett füsttel, vagy a kocsi ventilátorán keresztül a szabadsugarba, vagy a zárt tér szívócsonkján keresztül a zárt térbe fecskendezett füsttel. Legalább két különböző, lényegesen eltérő



üzemállapotot vizsgáljon. A látottakat vesse össze a kapulégfüggöny feltételezett működési viszonyaival. Erről készítsen szöveges értékelést, vázlatrajzot. Lehetőség szerint fényképezze le a vizualizált áramlást.

4.2 KIFELÉ SZIVÁRGÓ KAPULÉGFÜGGÖNY

A belső tér szívócsonkjára illesszen beszívó mérőtölcsért és az esetleges rések szigetelésével hozzon létre kifelé szivárgó légfüggönyt!

Végezze el a bemenő és kimenő paraméterek mérését a következő parametrikus vizsgálattal:

- a környezeti abszolút nyomás és hőmérsékletét a mérés elején és végén mérje le, az átlagukból számítsa a levegő sűrűségét.
- jet dinamikus nyomását változtassa a mérőkocsi által megengedett maximális érték és ennek 20%-a között minimum 3 fokozatban. A mérés során Pitot-csővel előre választott rendszeres időközönként a rés három pontjában mérje a dinamikus nyomást, ezekből térbeli átlagolás után számítsa az újramérések közti időszakra vonatkozó dinamikus nyomást, sebességet, térfogatáramot és impulzusáramot.
- a résszélesség értékét az elején állítsa be fixen egy kis értékre úgy, hogy az a felhasznált Pitot-cső átmérőjénél még nagyobb legyen. A kapuszélességet rögzítse egy fix értéken.

A kapuszög és a sebesség változtatásával állítson be különböző üzemállapotokat, és mérje meg a bel- és kültér közti nyomáskülönbséget, valamint a beszívó mérőperemen mérhető nyomásesést! A modell által megengedett sebesség-kapuszög tartományban legalább 20, egyenletesen elosztott pontot vegyen föl! Ezután – ha talál a két mért nyomáskülönbség szempontjából különösen viselkedő paramétertartományt, azok környezetében újabb 20 pontot állítson be! Összesen legalább negyven üzemállapoti pontban mérjen!

Vizualizálja a légfüggöny működését lézersík és a környezetbe fecskendezett füsttel, vagy a kocsi ventilátorán keresztül a szabadsugárba, vagy a zárt tér szívócsonkján keresztül a zárt térbe fecskendezett füsttel. Legalább két különböző, lényegesen eltérő üzemállapotot vizsgáljon. A látottakat vesse össze a kapulégfüggöny feltételezett működési viszonyaival. Erről készítsen szöveges értékelést, vázlatrajzot. Lehetőség szerint fényképezze le a vizualizált áramlást.

4.3 BEFELÉ SZIVÁRGÓ KAPULÉGFÜGGÖNY

A belső tér szívócsonkjára kösse rá a bypass ággal ellátott csővel az elszívást biztosító áramlástechnikai gépet! Az esetleges rések szigetelésével hozzon létre befelé szivárgó légfüggönyt!

Végezze el a bemenő és kimenő paraméterek mérését a következő parametrikus vizsgálattal. A környezeti abszolút nyomás és hőmérsékletét a mérés elején és végén mérje le, az átlagukból számítsa a levegő sűrűségét.

A résszélesség értékét az elején állítsa be fixen egy kis értékre úgy, hogy az a felhasznált Pitot-cső átmérőjénél még nagyobb legyen. A kapuszélességet és kapuszöget rögzítse egy fix értéken.

Kikapcsolt jet mellett mérje meg az elszívott térfogatáram maximális értékét. Számítsa ki, hogy ezt a térfogatáramot a jettel milyen dinamikus nyomás mellett érhetjük el.

A jet dinamikus nyomását változtassa minimum 4 fokozatban. A mérés során Pitot-csővel előre választott rendszeres időközönként a rés három pontjában mérje a dinamikus nyomást, ezekből



térbeli átlagolás után számítsa az újramérések közti időszakokra vonatkozó dinamikus nyomást, sebességet, térfogatáramot és impulzusáramot.

A jet dinamikus nyomásának és a beszívó mérőperemen mérhető nyomáskülönbségnek a változtatásával állítson be különböző üzemi állapotokat, és mérje meg a bel- és kültér közti nyomáskülönbséget! A modell által megengedett dinamikus nyomás-nyomáskülönbség tartományban legalább 10, egyenletesen elosztott pontot vegyen fel! Ezután mérjen újabb, legalább 10 olyan beállításban, amikor a jet dinamikus nyomása a mérőperem nyomáskülönbségéhez képest nagy, és 10 olyan pontban, amikor a jet dinamikus nyomása kicsi a mérőperemen mért értékekhez képest. Ha talál a két mért nyomáskülönbség szempontjából különösen viselkedő paramétertartományt, azok környezetében újabb 10 pontot állítson be! Összesen legalább negyven üzemi állapotban mérjen!

Vizualizálja a légfüggöny működését lézersíkkal és a környezetbe fecskendezett füsttel, vagy a kocsi ventillátorán keresztül a szabadsugárba, vagy a zárt tér szívócsonkján keresztül a zárt térbe fecskendezett füsttel. Legalább két különböző, lényegesen eltérő üzemi állapotot vizsgáljon. A látottakat vesse össze a kapulégfüggöny feltételezett működési viszonyaival. Erről készítsen szöveges értékelést, vázlatrajzot. Lehetőség szerint fényképezze le a vizualizált áramlást.

5 KIÉRTÉKELÉS

Mutassa be az elsődlegesen mért és ebből számított bemeneti és kimeneti paraméterek táblázatát. Ábrázolja a nyomáskülönbség és a szabadsugár, továbbá szivárgó légfüggöny esetén az elszívott térfogatáramok összefüggését görbesereggel, vagy 3D diagram formájában. Annak feltételezésével, hogy a légfüggöny nem szivárog, számítsa ki az irodalom által megadott képletek segítségével a beállított bemeneti paraméterekből a névleges üzemi állapot esetén adódó nyomáskülönbséget, és vesse össze a mérésekkel.

Végezze el a mért adatok dimenziótlanítását: számítsa ki a beállított dimenziótlan B és $\sin \beta$ bemeneti paramétereket, valamint a mért nyomáskülönbségekből a dimenziótlan D nyomáskülönbséget. Definiálja és számítsa ki a dimenziótlan $Q = q_{sz}/q_{be}$ paraméter, mint a szivárgási térfogatáram és a szabadsugár befúvó részén mérhető térfogatáram hányadosát. Ábrázolja D és Q kapcsolatát!

Számítsa ki a mért adatokból számítható K tényezőt, és ábrázolja ezt B függvényében az irodalomban megadott képlettel együtt:

$$K = 1,71 + 0,0264 B \quad (8)$$

Megjegyzés: a fenti összefüggés $25^\circ < \beta < 45^\circ$ és $10 < B < 40$ feltételek esetén érvényes.

Értékelje a kapott rendszer viselkedését. van-e kvalitatív vagy akár kvantitatív egyezés az irodalom által jóslt eredmények és a mért eredmények között? Mely paramétertartományban jó az egyezés? Van-e olyan paramétertartomány, ahol a rendszer viselkedése lényegesen eltér az irodalom által jóslttól? Hogyan jellemezhetjük itt a rendszer viselkedését? Milyen összefüggést lehet teremteni ekkor a kimeneti és bemeneti paraméterek között?



6 FORRÁSOK

Kapulégfüggönyök és működésük [1], az impulzustétel [2]; sík szabadsugarak és tulajdonságaik [3]. Ezen kívül érdemes felidézni az alapvető áramlástan mennyiségek mérésére szolgáló eszközöket, működési elvüket, és a hozzájuk kapcsolódó kiértékelő képleteket [4].

[1] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Budapest, 2008. 7.6 fejezet

[2] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Budapest, 2008. 7.1.1 fejezet

[3] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Budapest, 2008. 7.5.2 fejezet

[4] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Budapest, 2008. 6.2.5, 6.3.1, 6.3.3, 6.3.4, 6.3.5 fejezetek

[5] <http://users.encs.concordia.ca/~leonwang/moodle/mod/book/view.php?id=15&chapterid=12>