

M7

KÖNYÖKIDOM ÁRAMKÉPÉNEK VIZSGÁLATA ÉS VESZTESÉGTÉNYEZŐJÉNEK MEGHATÁROZÁSA

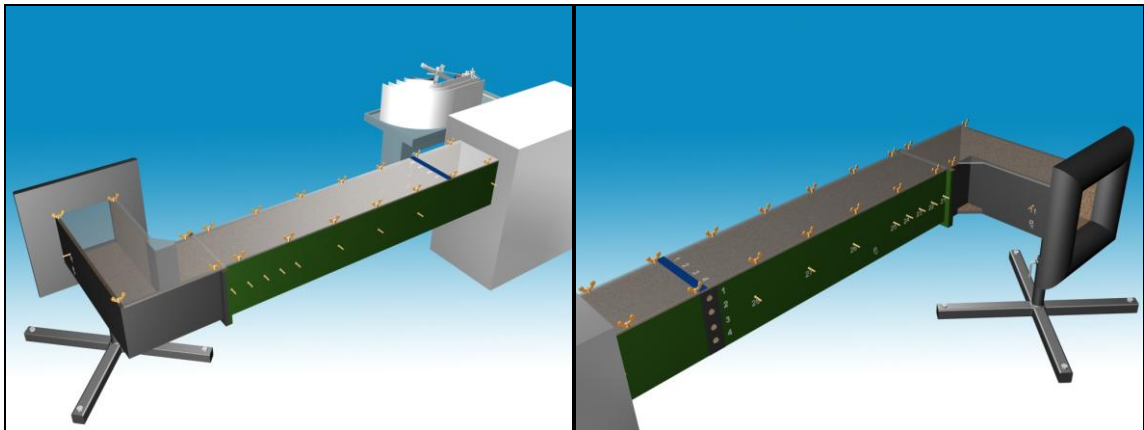
1. A mérés célja

A csővezetékben az áramlás irányváltozását könyökidomokkal, csőívekkel oldják meg. Az irányváltozás jelentős áramlási veszteségekkel jár, amelynek csökkentésére számos módszer dolgoztak ki. Jelen mérés célja egy könyökidom áramlási veszteségének meghatározása több geometriai változatra, a veszteségtényező szempontjából legkedvezőbb kialakítás kiválasztása.

2. A mérés leírása

A vizsgált könyökidom egy négyzetes, $a \times a = 150 \times 150 \text{mm}^2$ keresztmetszetű idom, melyen keresztül levegőt áramoltatunk át egy ventilátor segítségével. A csatorna, melybe a könyökidomot szereltük, a ventilátor szívóoldalára csatlakozik. A könyökidomba a külső, nyugalomban levő légtérből áramlik be a levegő egy közel veszteségmentesnek tekinthető, lekerekített beszívó idomon keresztül. Ezzel elérhető, hogy a könyök előtti áramlás megfelelően egyenletes legyen. A könyök utáni hosszabb egyenes csatorna mindkét oldalfalán

statikus nyomásmérési helyeket találunk. A csatorna felső fala plexiből készült, így lehetőség van az áramkép megfigyelésére is, amennyiben a rövid cérnával ellátott gombostűket beleszúrjuk a csatorna alsó, parafával borított lapjába.



2.1 Térfogatáram, átlagsebesség

A beszívó idom után mérhető statikus nyomás és a légköri nyomás különbsége ($\Delta p_{mért}$), mivel a beszívó idom szinte veszteségmentes, jó közelítéssel a csőbéli dinamikus nyomással egyezik meg. Ez alapján a térfogatáram a következő összefüggésekkel számolható:

$$q_v = k \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p_{mért}} = k \cdot a^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p_{mért}},$$

ahol: ρ az áramló közeg sűrűsége, k pedig egy a veszteségeket figyelembe vevő korrekciós tényező.

Az átlagsebesség pedig a következő szerint határozható meg:

$$\bar{v} = \frac{q_v}{A} = k \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p_{mért}}$$

A k korrekciós tényező meghatározása Prandtl-csővel történő sebességmérés alapján lehetséges.

Az átlagsebességet Prandtl-csővel, a pontonkénti sebességmérésre vonatkozó előírások szerint, a könyök előtti csatornaszakasz keresztmetszetének $2 \times 2 = 4$ pontjában mérve (lásd. pontonkénti sebességmérés) határozhatjuk meg. A Prandtl-cső pozícionálásához a könyök előtti plexilapon két furat található, ahol két mélységben végezzük el a mérést. A \bar{v} átlagsebesség a különböző alkalmazott terelőelemek esetén kissé változhat, mivel azok a ventilátor üzemállapotát kis mértékben megváltoztathatják (mindeközben változik a könyökidom veszteségtényezője is).

A pontonkénti sebesség mérés alapján az átlagsebesség:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^4 v_i}{4} = \frac{\sum_{i=1}^4 \sqrt{\frac{2 \cdot p_{din,i}}{\rho}}}{4},$$

ahol $p_{din,i}$ a Prandtl-csővel az i -edik pontban mért dinamikus nyomás.

Így a k korrekciós tényező a következő szerint számolható:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^4 \sqrt{\frac{2 \cdot p_{din,i}}{\rho}}}{4} = \frac{\sum_{i=1}^4 \sqrt{p_{din,i}}}{4 \cdot \sqrt{\Delta p_{mért}}}$$

A korrekciós tényező meghatározásához szükséges mérések az első mérési összeállítás során végezendők el, ez után, mivel a k konstansnak tekinthető, Prandtl-cső használatára nincs szükség, a térfogatáram és az átlagsebesség az egyes összeállításokhoz tartozó $\Delta p_{mért}$ értékekből kiszámítható.

2.2 Veszteségtényező

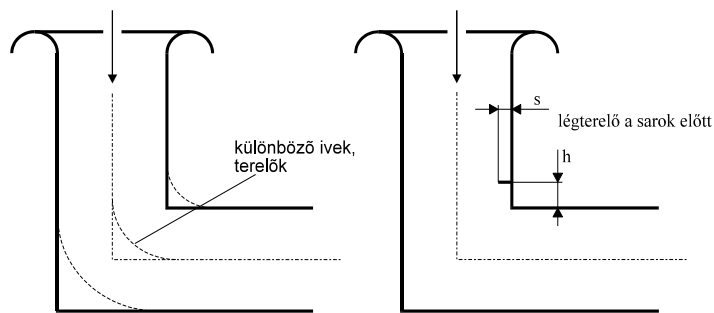
A könyökidomban kialakuló veszteségeket egy mérőszámmal a ξ_k veszteségtényezővel jellemezzük. A veszteségtényező az alábbiak szerint számolható:

$$\xi_k = \frac{p_{\ddot{o}.e} - p_{\ddot{o}.u}}{\frac{\rho \cdot v^2}{2}},$$

ahol $p_{\ddot{o}.e}$ és $p_{\ddot{o}.u}$ a könyök előtti és utáni össznyomás.

A veszteségtényező értéke a kialakuló áramképtől, főleg a leválási zónák nagyságától függ. A könyökidomban áramló közeg irányeltereléséhez, a súrlódási veszteség fedezéséhez, a szekunder áramlás és a levált zónák áramlásának fenntartásához a vezeték elején többletnyomásra van szükség. A fentiek módosításával ξ_k jelentősen csökkenthető. A csökkentést a könyökbe (1. ábra) épített különféle elemek beépítésével érhetjük el:

- a könyökidom geometriájának oly módon történő módosításával, hogy azt az áramló levegő könnyebben tudja követni. Ez a külső és belső éles sarkok cseréjével illetve terelő lemezek behelyezésével tehető meg.
- másik mód az oldalfalról az áramlásba benyúló kis légtérrelővel ("akadályal") a levált áramkép módosítása (L alakú fémlap oldalfalhoz való rögzítésével). Ezzel a módszerrel a leválási zóna alakját, helyét, méretét módosíthatjuk. Ezzel a nagy nyomásvesztést okozó leválási zóna csökkenthető, így - igaz, a helyileg bevitt kis többlet nyomásvesztés árán - kisebb veszteségtényezőt kaphatunk: a könyök ellenállása csökkenhet. Ebben az esetben az L alakú légtérrelők helyes méretének és helyzetének meghatározása a mérés feladata. A légtérrelő a könyök előtti belső oldalfalra szerelendő fel, ahogy azt a 1. ábra mutatja.



1. ábra: A könyök kialakításának lehetőségei

2.3 Áramlás láthatóvá tétele

A berendezés az áramkép láthatóvá tételére is alkalmas. Ezt a kísérletet fonalas pálcá mozgatásával (a levált zóna meghatározása) vagy fonalak parafa alaplapba való - pl. négyzethálós - elhelyezésével végezhetjük el. Jelen esetben a már említett, cérnás gombostűk használandók. Az áramlás szemléltetését célszerű minden esetben fényképen rögzíteni, hogy a mérési jegyzőkönyvben, beszámoló előadásban mellékletként szerepeltethessük.

3. Mérési eredmények értékelése

3.1 Veszteségtényező

A veszteségtényező meghatározásához fenti kifejezés alapján az össznyomás-különbséget kell mérnünk: $(p_{\ddot{o},e} - p_{\ddot{o},u})$. Mivel az állandó csatorna-keresztmetszet (folytonosság tétele) miatt az átlagsebesség a könyök előtt és után megegyezik, így az abból számolt dinamikus nyomások különbsége zérus:

$$p_{\ddot{o},e} - p_{\ddot{o},u} = (p_{st,e} + p_{din,e}) - (p_{st,u} + p_{din,u}) = (p_{st,e} + \frac{\rho}{2} v^{-2}) - (p_{st,u} + \frac{\rho}{2} v^{-2}) = p_{st,e} - p_{st,u}$$

Az átlagsebesség dinamikus nyomása pedig a k és a $\Delta p_{m\acute{e}rt}$ ismeretében következő szerint számolható:

$$\frac{\rho}{2} v^{-2} = k^2 \cdot \Delta p_{m\acute{e}rt}$$

Tehát jelen összeállítás esetén a veszteségtényező meghatározása az alábbiak szerint történik:

$$\zeta_k = \frac{p_{st,e} - p_{st,u}}{k^2 \cdot \Delta p_{m\acute{e}rt}}$$

Mit jelent a könyök „előtti” ill. „utáni” mérési pont?

A mérés során közvetlenül a $(p_{st,e} - p_{st,u})$ nyomáskülönbséget mérjük, mivel a digitális nyomásmérő egyik kivezetését a könyökidom előtti statikus nyomáskivezető furatra kötjük, míg a másik kivezetését a könyök utáni oldalsó furatokra csatlakoztatjuk.

$p_{st,e}$: a könyökidom előtt mért statikus nyomás mérési helye egyértelmű, a könyökidombeli áramlási viszonyok visszahatása az áramlásra elhanyagolható.

$p_{st,u}$: a könyökidom utáni nyomásmérési hely megválasztásában a kérdés egyedül csak az, hogy a könyök zavarásának hatása meddig terjed a csatornában, a könyök utáni melyik pontban mért oldalfali statikus nyomással kell számolni? Erre a feladatra a könyök utáni csatornaszakasz oldalfalain, mindkét oldalon 18-20 statikus nyomáskivezetés van elhelyezve, melyeken a csatorna nyomásmegoszlása mérhető. A nyomásmegoszlást ábrázolva és egyeztetve a fonalas rajzzal, meghatározható az a keresztmetszete a csatornának, ahol a könyök miatti leválási zónák már megszűntnek tekinthetők. Ekkor az áramlás mindkét („külső”/„belső” vagy „jobb”/„bal”) oldalon ismét visszafekszik az oldalfalra, jó közelítéssel a csatorna keresztmetszetben az áramvonalak ismét párhuzamosak, így a **kétoldali statikus nyomások megegyeznek**. A sebességprofil azonban ezen a helyen még nem szimmetrikus, így azt a helyet kell megkeresni, ahol már a mért statikus nyomás nem növekszik tovább. Ebben a keresztmetszetben mondható, hogy az áramlás visszafeküdt az oldalfalra, illetve hogy a sebességprofil is szimmetrikus. Ehhez a keresztmetszethez tartozó nyomásértéket tekintjük a könyök **utáni** statikus nyomásnak, ez alapján kell számítani a könyök ellenállás-tényezőjét.

/A könyöktől legtávolabbi két mérési pont a ventilátor szívócsonkja miatti aszimmetrikus áramlás miatt nem mérendő! /

3.2 Veszteségteljesítmény

A gyakorlati szempontból a könyökidom által okozott nyomásvesztés legyőzésére fordított teljesítmény is fontos, ugyanis ez a ventilátort hajtó motor által felvett villamos teljesítmény többletként jelenik meg, melyet az elektromos szolgáltató felé meg kell téríteni. A veszteségteljesítmény a következő szerint határozható meg:

$$P_{veszt} = q_v \cdot (p_{\ddot{o},e} - p_{\ddot{o},u}) = k \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p_{m\ddot{e}rt}} \cdot (p_{st,e} - p_{st,u})$$

3.3 Hibaszámítás

Az abszolút hiba számítása R származtatott mennyiségre:

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

ahol az X_i -k mért mennyiségek és a δX_i -k a hozzájuk kapcsolódó mérési hibák.

A relatív hiba számítása:

$$\frac{\delta R}{R} = ?$$

A hibaszámítást a veszteségtényezőre és a veszteségteljesítményre kell elvégezni. A veszteségtényező esetén figyelembe veendő mérési hibák:

$$X_1 = p_{st,e} - p_{st,u}$$

a digitális nyomásmérő hibája: $\delta p_{dig} = 2Pa$

$$X_2 = \Delta p_{mért}$$

a digitális nyomásmérő hibája: $\delta p_{dig} = 2Pa$

A veszteségteljesítmény esetén figyelembe veendő mérési hibák:

$$X_1 = p_{st,e} - p_{st,u}$$

a digitális nyomásmérő hibája: $\delta p_{dig} = 2Pa$

$$X_2 = \Delta p_{mért}$$

a digitális nyomásmérő hibája: $\delta p_{dig} = 2Pa$

$$X_3 = T_o$$

a hőmérő hibája: $\delta T_o = 1K$

$$X_4 = p_0$$

a barométer hibája: $\delta p_o = 100Pa$

4. A mérés során elvégzendő feladatok

- A légköri adatok leolvasása a mérés elején és végén
- A digitális nyomásmérő(k) kalibrációja
- A beszívó idom kalibrációja
- A nyomáskivezetések helyének lemérése
- Az egyéni mérési feladatban megadott összeállításokra a $\Delta p_{mért}$ értékek lemérése a térfogatáram számításhoz
- Az egyéni mérési feladatban megadott összeállításokra a könyök utáni nyomáslefutások végigmérése a csatorna két oldalán
- Az áramkép dokumentációja minden esetre

5. Jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell

- Prandtl-csőves átlagsebesség-mérés adatai, a korrekciós tényező kiszámítása
- A kézi digitális nyomásmérő kalibrációja
- Statikus nyomás mért értékeinek táblázatos formában való közzlése, az oldalfali nyomáseloszlás ábrázolása diagramban a hossz (x[mm]) mentén (nyomáskivezetések geometriai elhelyezkedése lemérendő!!). Az ábrában külön jobb- és baloldali nyomáseloszlás görbe, egy közös diagramban ábrázolva adott könyökidom-beállítás esetén.
- A fonalas rajz vagy fénykép közzlése minden kialakításhoz.
- Meghatározni az adatokból minden esetre, hogy hol feküdt vissza az áramkép, és hol szimmetrikus a sebességprofil. Erre a pontra kiszámítani az adott kialakításhoz tartozó könyökidom veszteségtényező és veszteségteljesítmény értékét.
- Minden vizsgált terelőelemre, vagy könyökidom geometriai változatra hasonló módon megadni a veszteségtényező és veszteségteljesítmény értékeket, mért adatokat, összefüggéseket és számított eredményeket.
- Hibaszámítás

- A különböző terelőelemek esetén kapott veszteségtényezők és veszteségteljesítmények táblázatos és grafikus elemzése, pl. a használt terelőlapok / idomok lekerekítési sugarának, benyúlási hosszának, saroktól mért helyzetének, stb. függvényében ábrázolva, és bemutatva a legkedvezőbb, illetve legkedvezőtlenebb helyzetet.
- Minden mérési eredmény szöveges értékelése, elemzése.
- Hibaszámítás a könyökidom veszteségtényező és veszteségteljesítmény értékeire, valamint ezek ábrázolása diagramban (hibasávos megjelenítéssel).
- Rövid összefoglalás.

A mérés során nem szabad megfeledkezni

-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 felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a rájuk vonatkozó egyéb tényezők 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.

- A digitális nyomásmérő kalibrációjáról!

- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csomópontjaira a gumicsövet óvatosan kell felhelyezni.

- A nyomásközlő gumi, vagy szilikon csövet mérés előtt, esetleg közben is célszerű ellenőrizni, nehogy repedés, szakadás legyen rajtuk, mert lyukas mérőcső esetén az összes addigi mérési eredmény kárba vész. Kritikus pontok a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.

- A jegyzőkönyv leadása előtt erősen ajánlott a konzultációk igénybevétele.

Irodalom

Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest 2004, (13. fejezet Hidraulika)