

M7

KÖNYÖKIDOM ÁRAMKÉPÉNEK VIZSGÁLATA ÉS VESZTESÉGTÉNYEZŐJÉNEK MEGHATÁROZÁSA

1. A mérés célja

A csővezetékben az áramlás irányváltását könyökidomokkal, csőívekkel oldják meg. Az irányváltás jelentős áramlási veszteségekkel jár, amelynek csökkentésére számos módszer dolgozott ki. A jelen mérés célja könyökidom áramlási veszteségének meghatározása több geometriai változatra, a veszteségtényező szempontjából legkedvezőbb kialakítás kiválasztása.

2. A mérés leírása

A vizsgált könyökidom egy négyzetes, 150×150 mm 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.

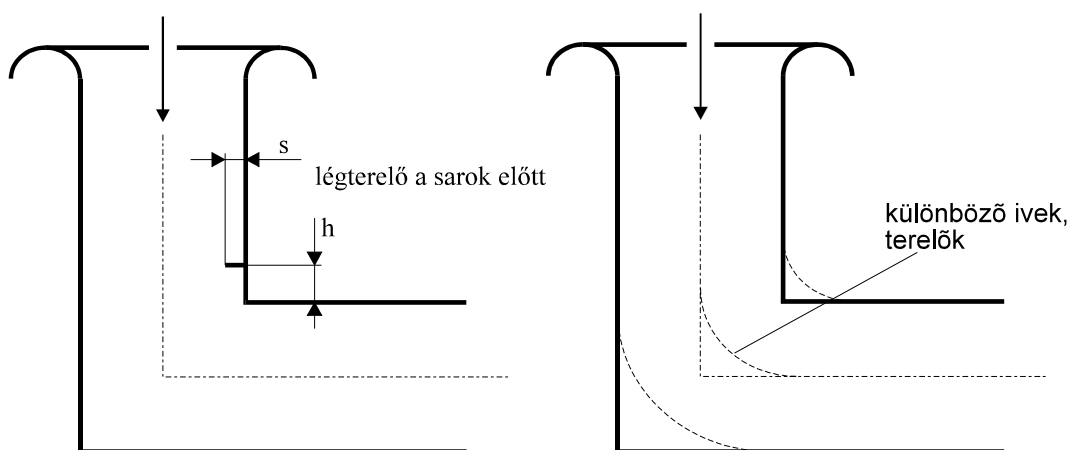
Veszteségtényező

A könyökidom „jóságát” jellemezzük: a könyökidom nyomásvesztését egy mérőszámmal a ξ_k veszteségtényezővel. A veszteségtényező értéke a kialakuló áramképtől, főleg a levált 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 vagy nyomáscsökkenés következik be. A fentiek módosításával ξ_k jelentősen csökkenthető. A csökkentést a könyökbe (1. ábra) épített különféle elemek beépítésével érhetjük el a jelen mérés során:

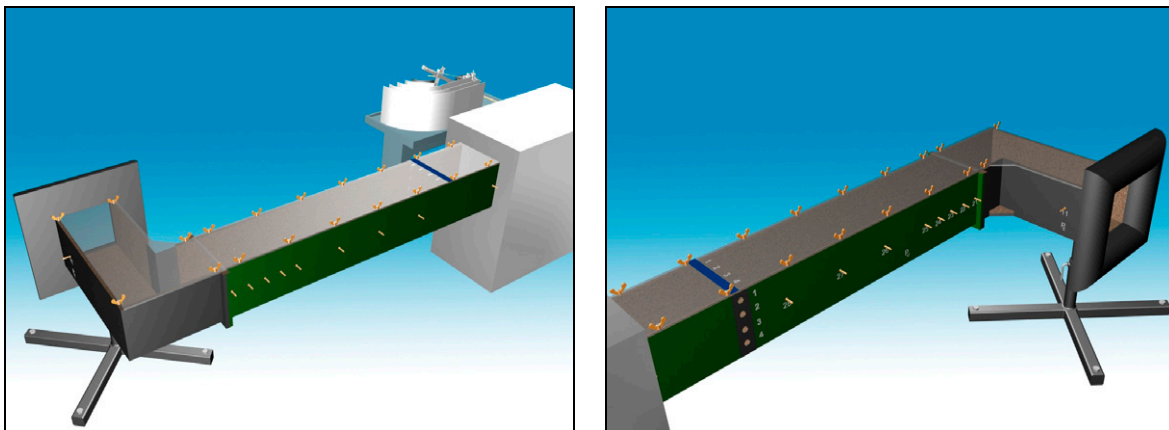
- a külső és/vagy belső éles sarok különböző lekerekítési sugarú ívelt lapokra, vagy 45°-os lapra való cseréjével, a könyök külső belső sarka közötti térbe helyezett egymással párhuzamos ívelt terelőlapok alkalmazásával.
- másik mód az oldalfalról az áramlásba benyúló kis légtelővel ("akadállyal") a levált áramkép módosítása (L alakú fémlapok 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 légtelők helyes méretének és helyzetének meghatározása a mérés feladata. A légtelő a könyök előtti és utáni, külső és belső oldalfalra is felszerelhető.

Áramlás láthatóvá tétele

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



1. ábra: A könyök kialakításának lehetőségei



3. Mérési eredmények értékelése

A veszteségtényező a p_{din} dinamikus nyomással dimenziótlanított könyök előtti ($p_{\text{ö,e}}$) és utáni ($p_{\text{ö,u}}$) össznyomások különbsége:

$$\xi_k = \frac{p_{\text{össz,e}} - p_{\text{össz,u}}}{\frac{\rho \bar{v}^2}{2}}$$

ahol ρ az áramló közeg sűrűsége, \bar{v} a keresztmetszetben érvényes az átlagsebesség.

Az átlagsebességet Prandtl-csővel, a pontonkénti sebességmérésre vonatkozó előírások szerint határozhatjuk meg a könyök előtti csatornaszakasz keresztmetszetének $2 \times 2 = 4$ pontjában mérve (lásd. pontonkénti sebességmérés). A \bar{v} átlagsebesség a különböző alkalmazott terelőelemek esetén kissé változhat, mivel azok a ventilátor üzemállapotát kis mértékben megváltoztathatják a könyökidom veszteségtényezőjének befolyásolása által.

A mérés során a térfogatáramot először Prandtl-csővel mért dinamikus nyomásokból határozzuk meg, kalibrálás céljából:

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

Ezután a digitális nyomásmérő egyik csonkját a könyök előtti statikus nyomáskivezető furathoz kötjük, míg a másikkal a légköri nyomást mérjük. Az így kapott nyomásérték jó közelítéssel a könyökben lévő dinamikus nyomással egyezik meg. A fali súrlódásnak és a beszívó elem veszteségének és áramlasmódosító hatásának figyelembevétele miatt azonban egy korrekciót kell alkalmaznunk.

A statikus nyomáskivezető furatnál számítható térfogatáram:

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

$$\text{A „k” korrekció meghatározása: } k = \frac{L^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 \sqrt{\frac{2 \cdot p_{din,i}}{\rho}}}{4}}{A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mért}}{\rho}}} = \frac{\sum_{i=1}^4 \sqrt{\frac{2 \cdot p_{din,i}}{\rho}}}{4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{mért}}{\rho}}}$$

A korrekciós tényező ismerete után, a mérés további részében Prandtl-cső használata nem szükséges. A térfogatáramokat a $\Delta p_{mért}$ és a korrekciós tényezők ismeretében határozzuk meg.

A veszteségtényező meghatározásához fenti kifejezés alapján az össznyomás-különbséget kell mérnünk: $(p_{össz,e} - p_{össz,u})$. Mivel azonban az állandó csatorna-keresztmetszet (folytonosság tétele) miatt az átlagsebesség a könyök előtt és után megegyezik, így az abból számolt dinamikus nyomások különbsége zérus (ld. alábbi átalakítást). Ekkor a veszteségtényező meghatározása a könyökidom előtt ill. után mért statikus nyomások különbségének mérésére redukálható. A kifejezés nevezőjében pedig az átlagsebességgel számolt dinamikus nyomás szerepel.

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

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

A mérés során közvetlenül a 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 statikus 8-10 nyomáskivezetés van elhelyezve egymás után, 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, az áramlás ekkor 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 szívócsonkjára miatti aszimmetrikus áramlás miatt nem mérendő! /

A ξ_k értékét a választott terelőelemhez vagy helyzetekhez kapcsolódva kell vizsgálni. A kísérlet során $\xi_{k,min}$ értéket adó megoldást kell megkeresni.

4. Jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell

- Prandtl-csőves átlagsebesség-mérés adatai, kalibráció
- Statikus nyomás mért értékeinek táblázatos formában való közlése, 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 közlése az adott kialakításhoz.
- Meghatározni az adatokból, hogy hol feküdt vissza az áramkép és hogy hol szimmetrikus a sebességprofil. Erre a pontra kiszámítani az adott kialakításhoz tartozó könyökidom veszteségtényező értékét.
- Minden vizsgált terelőelemre, vagy könyökidom geometriai változatra hasonló módon megadni a veszteségtényező értékeket, mért adatokat, összefüggéseket és számított eredményeket.
- A különböző terelőelemek esetén kapott veszteségtényezők, táblázatos vagy grafikus elemzése, pl. a használt terelőlapok / idomok lekerekítési sugarának, benyúlási hosszának, saroktól mért helyzetének, stb. függvényében ábrázolva, és bemutatva a legkedvezőbb, illetve legkedvezőtlenebb helyzetet. **AZ ÖSSZEHASONLÍTÁS ALAPJA az „ÜRES” KÖNYÖKIDOM, TEHÁT NE FELEJTSÜK EL LEMÉRNI AZ ALAP KIALAKÍTÁSÚ KÖNYÖKIDOMOT! Ennek a veszteségtényezőjéhez viszonyítva vonhatunk le következtetéseket az elvégzett mérésekről, a különböző létrehozott változatok értékelése ez alapján történik, tehát a diagramokban mindig szerepeltetni kell az alapbeállítás veszteségtényezőjét!**
- Minden mérési eredmény szöveges értékelése, elemzése.
- Hibaszámítás legalább egy könyökidom változatra mért veszteségtényező értékére.

Hibaszámítás

A könyök-idom veszteségtényező kifejezése:

$$\zeta_k = \frac{\Delta p_{\bar{o}}}{\frac{\rho}{2} \bar{v}^2} = \frac{P_{st,e} - P_{st,u}}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{q_v}{A}\right)^2} = \frac{P_{st,e} - P_{st,u}}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{\sum_{i=1}^{16} A_i \cdot v_i}{A}\right)^2} = \frac{P_{st,e} - P_{st,u}}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{\sum_{i=1}^{16} v_i}{16}\right)^2} = \frac{P_{st,e} - P_{st,u}}{\frac{\rho}{2} \left(\sqrt{\frac{2 p_{din}^*}{\rho_l}}\right)^2} = \frac{P_{st,e} - P_{st,u}}{p_{din}^*}$$

ahol p_{din}^* a \bar{v} átlagsebességből „visszaszámolt” dinamikus nyomás.

$$\text{Az abszolút hiba számítása: } \delta \zeta_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial \zeta_k}{\partial X_i} \right)^2} = ?$$

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

$$X_1 = p_{össz,e} - p_{össz,u} = p_{st,e} - p_{st,u} = \Delta p_{st}$$

$$X_2 = p_{din}$$

$$\text{digitális nyomásmérő hibája: } \delta p_{m\ddot{u}szer} = 2Pa$$

$$\text{digitális nyomásmérő hibája: } \delta p_{m\ddot{u}szer} = 2Pa$$

A relatív hiba számítása: $\frac{\delta \zeta_k}{\zeta_k} = ?$

A veszteségtényezőre a jegyzőkönyvben az abszolút és relatív hiba értékét is meg kell adni.

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 (Például a ferdecsőves mikromanométer mérőszál ferdítési 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 pontok a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.

Irodalom

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