

6. MÉRÉS

CSŐÍVEK ÁRAMLÁSI ELLENÁLLÁSÁNAK MÉRÉSE

1. BEVEZETÉS

A mérnöki gyakorlatban előforduló áramlások jelentős része csőáramlás. Gondoljunk például az ivóvízhálózatra, a csatornákra, a kőolaj- és földgázvezetésekre, a távfűtésre, vagy egy élelmiszeripari vagy vegyipari üzem belső csőhálózatára. A csővezetékek helyes méretezésekor döntő jelentőségű, hogy az áramló folyadék ellenállását minél pontosabban megbecsüljük, hiszen az áramlást létrehozó szivattyút vagy ventilátort (pl. a lakás fűtési rendszerének keringtető szivattyúját) az így számolt teljesítményigénynek megfelelően kell kiválasztani.

Minden csőelem áramlási ellenállást jelent. A csőelemek közül a legegyszerűbb az egyenes csőszakasz, de számtalan más elem is előfordul: ívek, könyökök, T-idomok, hirtelen keresztmetszet-változások, szelepek, csapok, stb.

Összenyomhatatlan közeg esetén – ha a csőkeresztmetszet az ellenállás előtt és után ugyanaz – az ellenállás nem jelentkezik az átlagos áramlási sebesség csökkenésében, mivel a kontinuitási egyenlet ezt nem engedi meg. Ezért az ellenállás miatti energiaveszteség **nyomásveszteség** formájában jelentkezik. A nyomásveszteséget a vizsgált csőelem előtti és utáni átlagos nyomások különbségeként értelmezzük. A nyomás keresztmetszet mentén történő átlagolására azért van szükség, mert különböző áramlási aszimmetriák miatt a nyomás egy keresztmetszetben is változhat. A gyakorlatban az átlagolás általában négy, a kerület mentén egyenletesen elosztott nyomásmegcsapolás összekötésével történik. A jelen mérésben ezt a csőátmérő kicsiny volta miatt mégsem tettük meg.

A nyomásveszteséget a következő képlettel adjuk meg:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \zeta \frac{\rho}{2} \bar{v}^2, \quad (1)$$

ahol \bar{v} a keresztmetszet mentén vett átlagsebesség, ρ a folyadék sűrűsége, amit állandónak tételezünk fel, az „1” és a „2” keresztmetszet a vizsgált csőszakasz, szerelvény előtti és utáni nyomásmegcsapolás helye, ζ (ejtsd dzéta) pedig az úgynevezett veszteségtényező.

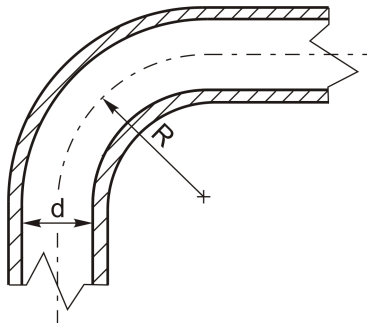
ζ még egy adott konkrét csőelemre is számos paramétertől függ. Függ az áramlási sebességtől, a folyadék anyagi tulajdonságaitól, a csőfal érdességétől, a csőelem geometriai részleteitől. Ez utóbbira példa egy szelep különböző mértékű nyitása, egy hirtelen keresztmetszet-változás aránya, vagy éppen a jelen mérés tárgya: a csőívek kanyarulatának élessége (görbületi sugara – lásd 1. ábra).

A különböző idomdarabok veszteségtényezőjét szakkönyvekben található diagramokból vagy táblázatokból kaphatjuk meg, illetve ha a megfelelő

eszközök, berendezések rendelkezésre állnak, akkor méréssel határozhatók meg.

2. A MÉRÉS CÉLJA

A mérés célja egy 90° -os csőív veszteségtényezőjének meghatározása a térfogatáram, illetve a csőív geometriájának függvényében. A csőív geometriáját az R/d viszonytal jellemezzük, ahol R a középvonal görbületi sugara, és d a cső belső átmérője (1. ábra). A három mérőcsoport 2-2 különböző ívet mér, összesen tehát hatot. A mérés kiértékelési szakaszában a hat csőív ellenállásának relatív görbületi sugártól való függését egymással összehasonlítjuk. A józan ész alapján azt várjuk, hogy veszteségtényező a görbületi sugár csökkenésével nő.

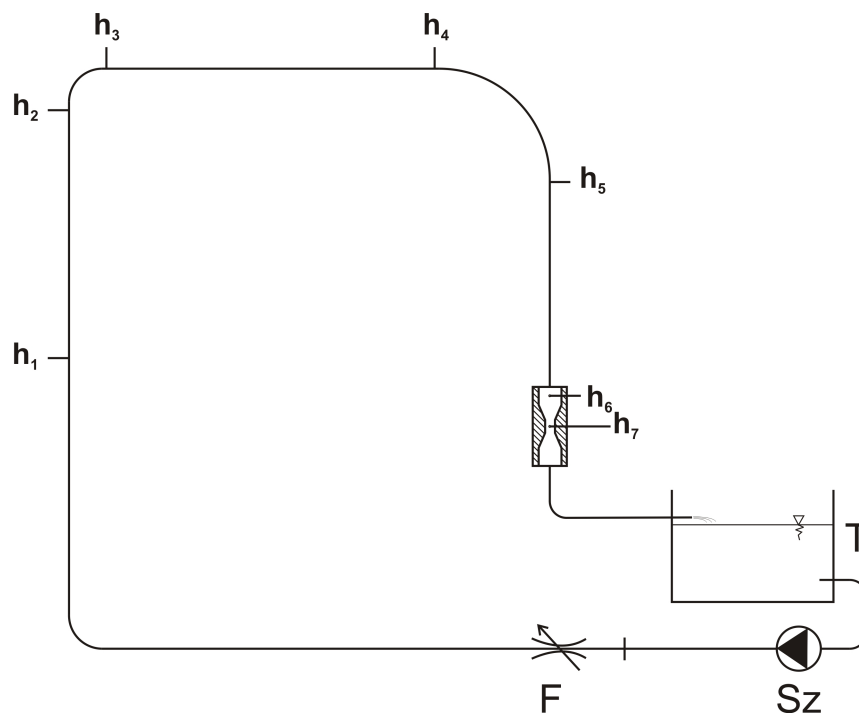


1. ábra: Csőív jellemző adatai

3. A MÉRŐBERENDEZÉS FELÉPÍTÉSE

A mérőberendezés vázlatát a 2. ábrán láthatjuk. A berendezésbe szerelt WILO gyártmányú fűtési melegvíz keringtető szivattyú (Sz) egy tartályból (T) szív és a víz a tartályba ömlik vissza. A csővezeték, a mérendő ívek és a Venturi-cső mind egy vízszintes síkban helyezkednek el, hogy a geodetikus magasság hatása ne játsszon szerepet. A térfogatáramot fojtószeleppel (F) állítjuk be a kívánt értékre. A következő hét nyomásmegcsapolás van a rendszerbe beépítve:

- h_1 : egyenes csőszakasz kezdete;
- h_2 : egyenes csőszakasz vége és egyben az első ív kezdete;
- h_3 : első ív vége;
- h_4 : második ív kezdete;
- h_5 : második ív vége;
- h_6 és h_7 : Venturi-cső megcsapolásai d -nél és d_{szuk} -nél

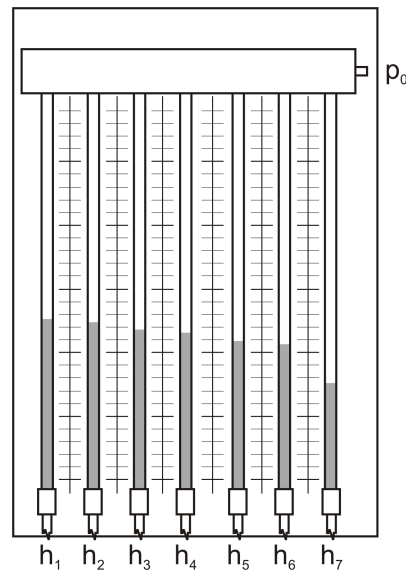


2. ábra: A berendezés vázlata

4. A FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK

A mérés során az előző méréseken felhasznált, illetve az előadáson tanult eszközöket fogjuk használni. A mérőberendezésen számos nyomáskülönbséget kell mérni. A nyomáskülönbségeket, hogy a manométerek számát csökkentsük, egy úgynevezett **multimanométerrel** mérjük (3. ábra). A mérőfolyadék víz. A multimanométer sok összekapcsolt egycsöves manométer összessége. Az egyes ágakban levő vízoszlop magasságok egy tetszőleges nulla szinthez képesti nyomáseltérésekkel arányosak. A nulla szintet a manométer magasságának beállításával szabályozhatjuk, azonban az esetek többségében (mint ahogyan a jelen esetben) ennek nincs jelentősége, ugyanis kizárólag a megcsapolások közötti nyomáskülönbségekre vagyunk kíváncsiak és nem az abszolút nyomásszintre. (Ez utóbbi egyébként jellemző az összenyomhatatlan közegek áramlására: az abszolút nyomásszint nem játszik szerepet, csak a nyomáskülönbségek.)

A különböző nyomásmegcsapolások helyét az előző fejezetben közöltük, a mérés során a megcsapolásokhoz tartozó vízszlopszinteket le kell olvasni, és a kiértékelés során a kívánt vízszlopmagasság-, illetve nyomás-különbségeket kiszámolni.



3. ábra: Multimanométer

A térfogatáram méréséhez Venturi-csövet használunk. A Venturi-cső működési elvét ismertettük és képletét előadáson levezettük.

Eszerint a térfogatáram:

$$Q = k \frac{d_{szuk}^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \left[1 - \left(\frac{d_{szuk}}{d} \right)^4 \right]}}, \quad (2)$$

ahol d és d_{szuk} a két nyomásmegcsapolási csőkeresztmetszetben lévő átmérő, azaz a szűkület előtti legnagyobb ($d = 20$ mm), illetve a szűkületben mért legkisebb ($d_{szuk} = 11$ mm). Δp a két nyomásmegcsapolás között mért nyomáskülönbség, ρ a csőben áramló folyadék sűrűsége (esetünkben víz, azaz $\rho = 1000$ kg/m³) végül k egy konstans, ami a Venturi-csőben fellépő áramlási veszteségeket veszi figyelembe. Erre azért van szükség, mert a veszteségeket, bár nem nagyok, mégis figyelembe kell venni. Erre a Venturi-csőre $k = 0,96$.

Manométer egyensúlyból $\Delta p = \rho_m \cdot g \cdot \Delta h$, itt ρ_m a mérőfolyadék sűrűsége és Δh a két nyomásmegcsapolás között mért vízoszlopmagasság-különbség. Mivel mind a mérendő, mind a mérőfolyadék víz, ezért $\rho_m = \rho$.

Ezt behelyettesítve a (2) képletbe kapjuk, hogy:

$$Q = k \frac{d_{szuk}^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1 - \left(\frac{d_{szuk}}{d} \right)^4}}. \quad (3)$$

Vegyük észre, hogy (3)-ban minden adat ismert konstans, kivéve Δh -t, így, ha a megfelelő számokat behelyettesítjük, az egyszerű

$$Q = C\sqrt{\Delta h} \quad (4)$$

képletet kapjuk, ahol $C =$ konstans.

5. A GYAKORLAT MENETE

Összefoglalva a mérés és a kiértékelés menete lépésről lépésre:

- Mérjék le az ív hosszát (l) mérőszalaggal és számolják ki az R/d viszonyt! Vigyázat: a nyomásmegcsapolások közötti távolság nem mindig azonos a görbült szakasz hosszával! R görbületi sugár meghatározására az utóbbit, a (6) és (7) képletbe, az (l) helyére az előbbit helyettesítsék!
- Mérjék le h_1 -től h_7 -ig a vízoszlopmagasságokat 8 különböző térfogatáramnál! A térfogatáramot a fojtószeleppel szabályozzák, a lépést a kisebb térfogatáramok tartományában csökkentsék! Ne menjenek egész alacsony térfogatáramokra, ott a kiértékelés bizonytalanra válik: a csőív elején és végén mért vízoszlop magasság különbsége legalább 30 mm legyen.
- Az (4) képlet alapján számítsák ki a térfogatáramokat, majd abból a csőbéli átlagsebességeket! A térfogatáram mértékegysége a táblázatban legyen [cm^3/s]!,
- A (7) képlet alapján számítsák ki a két csőív veszteségtényezőjét és számítsák ki az átlagot! A λ csősúrlódási tényezőnél az általunk lentebb megadott értéket használják.
- A mérésvezető utasításai alapján rajzoljanak közös grafikont, a többi mérőcsoport átlagos ζ_a értékei felhasználásával: az R/d függvényében ábrázolják az átlagos ζ_a tényezőt!
- Az (5) képlet felhasználásával számítsák ki a λ csősúrlódási tényezőt az első sor adatai alapján. Ezt csak ellenőrzésre fogjuk használni.

6. KIÉRTÉKELÉS

A csőívek nyomásvesztése két tényezőtől tevődik össze: a csőfali súrlódásból és az ívek alakjából adódó veszteségből. Ezek szétválasztása a valóságban persze nem egyértelmű, de ez a gondolati konstrukció segít abban, hogy a különböző görbületi sugarú csőívek ellenállását összehasonlíthassuk. Mivel a különböző csőívek hossza eltérő, az ívhossz hatását úgy semlegesítjük, hogy az ívhosszal azonos hosszúságú egyenes csőszakasz súrlódási veszteségét levonjuk a teljes súrlódási veszteségből.

Ezzel kizárólag a csőívek alakjából adódó alaki veszteségtényezőket (ζ_a) hasonlítjuk össze.

Ahhoz, hogy egy ekvivalens egyenes csőszakasz súrlódási veszteségét meghatározzuk, szükségünk van a λ csősúrlódási tényezőre. Ezt az egyszerűség kedvéért megadjuk: $\lambda = 0,019$, de ellenőrzésére szolgál a rendszerbe beépített egyenes csőszakasz is. A mérés részeként a mérés minden résztvevője egy-egy térfogatáramnál számolja ki λ -t az ismert képlettel:

$$\lambda = \frac{\Delta p_{12}}{\frac{l_{12}}{d} \frac{\rho}{2} \bar{v}^2}, \quad (5)$$

ahol Δp_{12} a h_1 és h_2 megcsapolások között mért nyomáskülönbség, l_{12} ugyanezen csőszakasz hossza, d pedig a cső belső átmérője, azaz 20 mm.

Az ív teljes nyomásvesztése (Δp) az ívhosszal (l) számolt ekvivalens egyenes cső nyomásvesztéséből és az ív alakjából adódó nyomásvesztéséből tevődik össze:

$$\Delta p = \zeta_a \frac{\rho}{2} \bar{v}^2 + \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} \bar{v}^2, \quad (6)$$

ebből átrendezés után:

$$\zeta_a = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} \bar{v}^2} - \lambda \frac{l}{d}. \quad (7)$$

7. A MÉRÉSRE VALÓ FELKÉSZÜLÉS

- Az előadási (és esetlegesen a példamegoldási) anyagból tanulmányozzák át az áramlástanra vonatkozó részeket! (Nyomásmérés, kontinuitási- és Bernoulli-egyenlet, térfogatáram-mérés Venturi-csővel, áramlási veszteségek.)
- Számolják ki otthon az (4) egyenletben szereplő C konstans, úgy, hogy a Δh -t mm-ben kelljen behelyettesíteni és a Q -t cm^3/s -ban kapjuk. A helyes C konstans a gyakorlaton való részvétel egyik feltétele.
- Hozzanak magukkal 1 db A4-es milliméterpapírt.
- Mérés előtt ellenőrizni fogjuk a mérésre történő megfelelő felkészülést, a mérés során alkalmazott összefüggések ismeretét és helyes használatát elméleti, ill. rövid számpéldán keresztül. (Pl.: a mintakérdések a honlapon; megjegyzés: a beugrón ezektől eltérő kérdések is lehetnek.)
- Töltsék ki otthon a biankó jegyzőkönyvet a 4. pontig (az 5-8 pontot és az azt követő táblázatot majd a mérésen fogjuk).

Ezen mérésleírással illetve a méréssel kapcsolatos észrevételeket a csizmadia@hds.bme.hu címre várjuk.