

Elszámolási rendszerek az áramlásmérésben - 4.

Forróvíz és gőzmérés

Barta Gergely, Dr. Csubák Tibor – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A folytatásban összenyomható közegek – gőzök és gázok – korrekciós mérésének elméletét tárgyaljuk, majd kitérünk a szűkítőelem és a nyomásvétel módjának szabványos kialakításaira. Bemutatjuk ezek főbb jellemzőit és általános szempontokat adunk a mérések gyakorlati megvalósításához.

Korrekciós mennyiségmérés összenyomható közegek esetén

Az α átfolyási számot és az ϵ expanziós tényezőt vizsgálva megállapítottuk, hogy mindkét tényező függvénye az átáramló mennyiségnek is, tehát a pontos méréshez értéküket mérési ciklusonként számolni kell. Vizsgáljuk meg a ρ sűrűség változását az állapotjellemzők függvényében! Egységnyi súlyú ideális gáz sűrűségváltozását az alábbi állapotegyenlet fejezi ki:

$$R = \frac{p}{\rho \cdot T} \quad ,$$

ahol:

R az egységnyi súlyú gáz gázállandója,

p a gáz abszolút nyomása,

T a gáz abszolút hőmérséklete,

ρ a gáz sűrűsége.

Mivel a gázok fizikai tulajdonságait (tehát a sűrűségét is) a nyomás és a hőmérséklet jelentősen befolyásolja, az egyértelműség és az összehasonlíthatóság érdekében célszerű a gázok jellemzőit meghatározott nyomásra és hőmérsékletre vonatkoztatni. Ezért bevezették az ún. normálállapot fogalmát mint vonatkoztatási alapot. A fizikai normálállapot jellemzői:

$$p_N = 1,033 \text{ bar},$$

$$T_N = 273,16 \text{ K}.$$

Ily módon célszerű a gázok fizikai tulajdonságait a gázok normálállapotára vonatkoztatva meghatározni. Az üzemi állapotú gáz sűrűsége kiszámítható az egyetemes gáztörvény felhasználásával az üzemi állapotjellemzők ismertében:

$$\frac{p_N}{\rho_N \cdot T_N} = \frac{p_{ii}}{\rho_{ii} \cdot T_{ii}} \rightarrow \rho_{ii} = \rho_N \cdot \frac{p_{ii} \cdot T_N}{p_N \cdot T_{ii}} \quad .$$

A fenti összefüggés azonban csak ideális gázokra érvényes. Nem ideális gázok jellemzésére bevezették a K kompresszibilitási tényező fogalmát. K egy viszonyszám, amely a valóságos gázoknak és gőzöknek az ideális állapottól való eltérését jellemzi. Függ a gáz vagy a gőz nyomásától, hőmérsékletétől és anyagi minőségétől. Definíciója:

$$K = \frac{V_{tényleges}}{V_{ideális}} \quad .$$

A valóságos gáz sűrűsége a kompresszibilitási tényező figyelembevételével:

$$\rho_{ii} = \rho_N \cdot \frac{p_{ii} \cdot T_N}{p_N \cdot T_{ii} \cdot K} \quad .$$

Ha egy gázkeverék egyes komponenseinek kompresszibilitási tényezője ismert, akkor a gázkeverék átlagos kompresszibilitási tényezője az alábbi összefüggéssel számítható:

$$K_{\text{átl}} = \frac{\sum n(i) \cdot K(i)}{\sum n(i)} \quad ,$$

ahol:

$n(i)$ az i -edik komponens térfogatszázaléka,

$K(i)$ az i -edik komponens kompresszibilitási tényezője.

A K kompresszibilitási tényező számításának eljárásait azok bonyolultsága miatt itt nem részletezzük. A meghatározásra két szabvány is rendelkezésre áll:

- AGA 8 és
- AGA NX 19.

A gyakorlatban a kompresszibilitási tényezőt háromféle módon vehetjük figyelembe:

- Kevésbé pontos (pl. technológiairányítási) mérés esetén az üzemszerűen előforduló gázelegy p_{ii} nyomás és T_{ii} hőmérséklet munkaponti értékeire meghatározzuk a kompresszibilitási tényezőt pl. az általánosított, redukált kompresszibilitási diagram (1. ábra) segítségével, és ezzel mint állandó értékkel számolunk. A diagram a kritikus állapot környékén pontatlan, és csak homogén gázok esetén érvényes.
- Időszakos állapotkorrekció: meghatározott időnként (pl. hetente) meghatározzuk a gázelegy összetételét, és ezt az áramlásszámító berendezésben beállítva, a készülék a nyomás és hőmérséklet ismeretében, az AGA 8 vagy AGA NX 19 szerint mérési ciklusonként határozza meg K értékét.

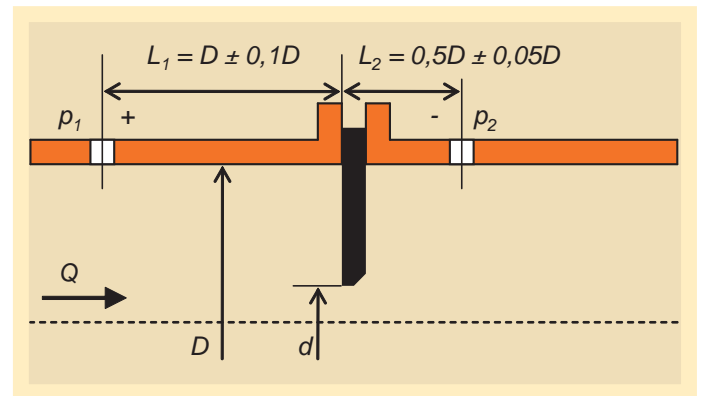
Szabványos nyomásvételi módok

A számítási összefüggéseket, valamint a gyártására és beépítésére vonatkozó előírásokat az MSZ EN ISO 5167-jelű szabványnak megfelelő, élesfalú normál mérőperemre dolgozták ki. Az élesfalú normál mérőperem egy megfelelően elkészített, furattal ellátott tárcsa, amelyben koncentrikus nyílás van. Ezt a csővezeték mérőszakaszába szerelik. A csővezetékbe épített mérőperem előtt és után nyomásvételi kialakítás (megcsapolás) van a nyomáskülönbség mérésére. A folyadékáram legkisebb keresztmetszetű pontja nem esik egybe a mérőperem nyílásával, hanem valamivel mögötte van. Ez a hely a „Vena Contracta”. A nyomás a mérőperem után sohasem éri el az eredeti értéket. A maradó nyomásvesztés (h_v) a szűkítőelem és a cső átmérőjének d/D viszonyától függ. Aszerint, hogy a mérőperemmel ellátott csőszakaszt hol és hogyan csapoljuk meg a nyomás mérése érdekében, többféle nyomásvételi mód létezik.

A különféle nyomásvételi módokat egyértelműen jellemzi a sebességtényező Reynolds-számtól független része, mivel ez a mérőperem és a mérőszakasz geometriai jellemzőjéből adódik.

• D és $D/2$ távolságú nyomásvételi megcsapolás (2. ábra) esetén a sebességtényező Reynolds-számtól független része:

$$C_0 = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,0158 \cdot \beta^3 - 0,184 \cdot \beta^8 + 0,039 \cdot \beta^4 \cdot (1 - \beta^4)^{-1}$$



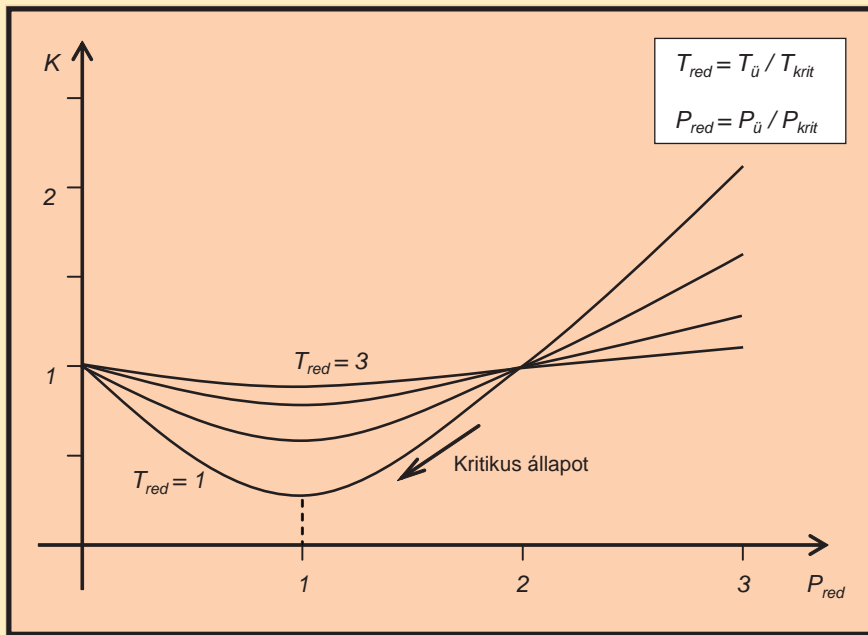
2. ábra D és $D/2$ távolságú nyomásvételi megcsapolás

• A karimán létesített nyomásmérő-megcsapolás (3. ábra) esetén a sebességtényező Reynolds-számtól független részének meghatározásához külön meg kell vizsgálni azt az esetet, amikor a csőátmérő 58,62 mm, vagy annál nagyobb, ill. kisebb. $D \leq 58,62$ mm esetén:

$$C_0 = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,0337 \cdot L_2^c \cdot \beta^3 - 0,184 \cdot \beta^8 + 0,039 \cdot \beta^4 \cdot (1 - \beta^4)^{-1}$$

$D > 58,62$ mm esetén:

$$C_0 = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,0337 \cdot L_2^c \cdot \beta^3 - 0,184 \cdot \beta^8 + 0,09 \cdot L_1 \cdot \beta^4 \cdot (1 - \beta^4)^{-1}$$



1. ábra Általánosított redukált kompressibilitási diagram

• Folyamatos korrekció: Egy gázkromatográf folyamatosan meghatározza a gázelegy összetételét, amelyet az áramlásszámitó berendezésnek továbbít. Ez alapján a számítóberendezés folyamatosan képes K értékének meghatározására és a tömegáram korrekciójára.

Kereskedelmi elszámolási mérőrendszerekben az egyértelmű elszámolhatóság és összehasonlíthatóság miatt az átáramlott mennyiséget normálállapotú térfogatáramban adják meg. Ezt a korábban vizsgált összefüggéseket felhasználva határozhatjuk meg. Az általános gáztörvény

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{áll.}$$

felhasználásával az üzemi állapotú sűrűség:

$$\frac{p_N \cdot K}{\rho_N \cdot T_N} = \frac{p_u}{\rho_u \cdot T_u} \rightarrow \rho_u = \rho_N \cdot \frac{p_u \cdot T_N}{p_N \cdot T_u \cdot K}$$

A normálállapotú térfogatáram:

$$\frac{p_N \cdot q_{vN}}{T_N} = \frac{p_u \cdot q_{vu}}{T_u} \rightarrow q_{vN} = \frac{p_u \cdot T_N}{T_u \cdot p_N} \cdot q_{vu}$$

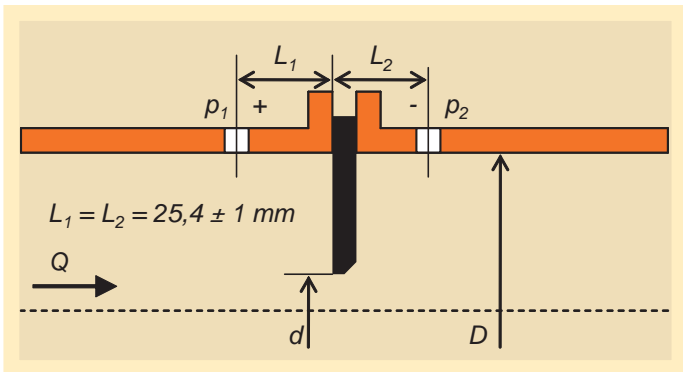
A szűkítőelemes mennyiségmérés alapösszefüggése térfogatáramra:

$$q_{vu} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}$$

Ebbe a fenti összefüggéseket behelyettesítve:

$$q_{vN} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_0 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{T_N}{p_N \cdot \rho_N \cdot K}} \cdot \sqrt{\frac{p_u}{T_u} \cdot \Delta p}$$

kifejezés adódik.

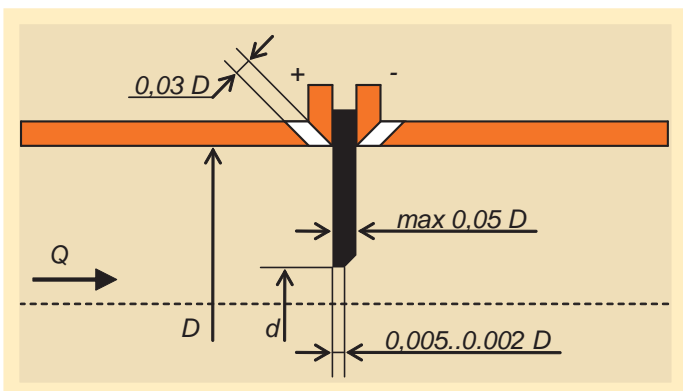


3. ábra Karimán létesített nyomásmérő megcsapolás

- Egyszerű, furatos nyomásmérő megcsapolást (4. ábra) alkalmazva:

$$C_0 = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,184 \cdot \beta^8$$

Létezik olyan megoldás is, ahol a nyomás mérésére több (2, 4, 6, 8, esetleg 12 db) furatot használnak. Ezeket a terület mentén egyenletesen kell elosztani, és a nyomást egyesítve (külön a pozitív és negatív oldali nyomást) közös gyűjtővezetékkel kell a nyomáskülönbség-mérőhöz vezetni. Ezt a módszert különösen a nagy csőátmérők esetén alkalmazzák.

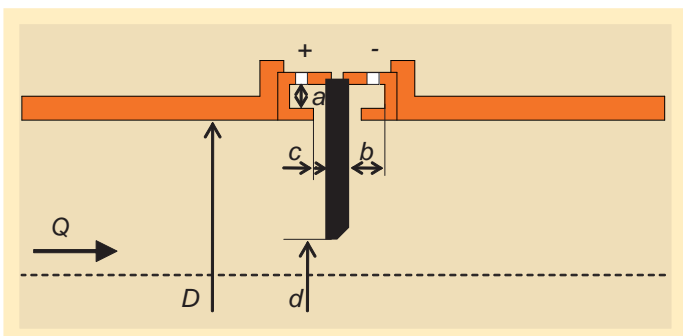


4. ábra Egyszerű furatos sarokmegcsapolás

- Kis csőátmérők esetén furatokat egyáltalán nem lehet alkalmazni, hanem gyűrű alakú réseket – gyűrűkamrákat (5. ábra) – kell kialakítani, amelyek nyíláskeretszmetének a fél terület mentén a kamra keresztmetszeténél kisebbnek vagy azal egyenlőnek kell lennie a fojtások elkerülése érdekében:

$$a \cdot b \geq \frac{1}{2} \cdot c \cdot D \cdot \pi$$

5. ábra Gyűrűkamrás nyomáselvérteli megcsapolás



- Ez a feltétel nagy csőátmérőre alkalmazva fizikailag megvalósíthatatlan méreteket adna, ezért $D > 300$ mm esetén a gyűrűkamrát nem alkalmazzák. Gyűrűkamrás megcsapolás esetén a sebességtényező Reynolds-számtól független része:

$$C_0 = 0,5909 + 0,312 \cdot \beta^{2,1} - 0,184 \cdot \beta^8$$

Szűkítőelemek beépítési követelményei

A német mérőegylet (VDI) kezdeményezésére már 1912-ben kialakították a szabványos mérőperemeket. Ezen szabványok szerint készült mérőeszközöket külön hitelesíteni nem kell, mivel a szabványos készülékeknek érvényes α értékeket a Reynolds-szám függvényében már megállapították, és minden újonnan tervezett szűkítőelemet csak típusengedéllyel lehet forgalomba hozni.

Kísérlettel bizonyították, hogy a Reynolds-szám növekedésével a mérési hibák is növekednek. Nagy szűkítési viszony esetén a mérési eredmények szórása nagyobb a gyártási, szerelési és egyéb járulékos hibák miatt. Szükséges meghatározni a szűkítőelem pontos helyét is. A szűkítőelemet magába foglaló mérőszakasznak az MSZ EN ISO 5167-jelű szabvány követelményeinek kell megfelelnie. Egyenesnek, kör keresztmetszetűnek, mindenféle elágazástól, csonktól és szennyeződéstől mentesnek kell lennie. A szűkítőelem furata és a csővezeték tengelyvonala központos legyen. Tömítéseknek, rögzítőelemeknek nem szabad belőgniük a cső keresztmetszetébe. Ügyelni kell a stabil, áramlási iránynak megfelelő beszerelésre. A sima belső csőfalakon kívül még kellő hosszúságú, egyenes csőszakaszok is szükségesek, amelyek a beépített mérőelem előtt és után az áramló közeg zavartalan hozzá- és elfolyását biztosítják.

A szűkítőelem előtti csőszakaszban a csőátmérő-változásokat (bővület, szűkület) kerülni kell. A kúp alakú szűkítés kevésbé káros, de így is $15D$ -nél nagyobb szabad csőszakaszt igényel a szűkítőelem előtt. A beáramlási szakaszok előtt alkalmazott térbeli görbületek perdületet okozó hatásuk miatt a mérést zavarják, és igen hosszú csillapító szakasz beépítését teszik szükségessé. A részben nyitott tolózárak és szelepek hasonló módon zavarják a mérést, ezért ezeket lehetőleg a szűkítőelem után célszerű beszerelni. A gyűrűkamrás nyomáselvérteli kialakítások egyébként kevésbé érzékenyek ezekre a zavarokra, mint a furatosak. A szűkítőelem után legalább $5D$ hosszúságú egyenes csőszakasz szükséges. Le rövidítésük megengedhető, de ebben az esetben a szabványban megadott hibaturécs növekednek, mégpedig a hosszúság felére való csökkenés esetén $\pm 0,5\%$ -kal.

A szűkítőelemes mennyiségmérő rendszerrel csak olyan állapotú anyagok mérhetők, amelyek fázisa a mérőrendszer egészén való áthaladás során nem változik, vagyis a közeg homogén marad.

IRODALOM:

- [1] Dr. T. Csubák, "High-accuracy heat-flow measurement by using a quick approximate algorithm", Periodica Polytechnica Ser. El. Eng. Vol. 42, No. 2, pp. 233-250, Budapest, 1998
- [2] American Gas Association, "Transmission Measurement Committee Report No. 8 - Compressibility and supercompressibility for natural gas and other hydrocarbon gases", Arlington VA, USA, 1985
- [3] MSZ EN ISO 5167-1:2003 Anyagárammérés nyomáskülönbség elvén működő eszközökkel olyan kör keresztmetszetű csővezetékben, amelyet az áramló anyag teljes keresztmetszetében kitölt. 1. rész
- [4] MSZ EN ISO 5167-2:2003 Anyagárammérés nyomáskülönbség elvén működő eszközökkel olyan kör keresztmetszetű csővezetékben, amelyet az áramló anyag teljes keresztmetszetében kitölt. 2. rész: Mérőperemek

(Folytatjuk!)

editor@magyar-elektronika.hu