A műszaki életben sokszor előfordul, hogy a meglévő rotaméterünk nem a kalibrálási körülmények között üzemel. Nagyobb, vagy kisebb nyomáson működik, esetleg az is megtörténhet, hogy nem az a közeg folyik rajta keresztül, amire méretezve van. Ebben az esetben egyet biztosan állíthatunk a műszerről: pontatlanul mér. Annak eldöntése viszont, hogy mennyit „csal”, és milyen „irányban”, már nem is olyan egyszerű. Jelen írás feladata, hogy bizonyos korlátok között ugyan, de tudományos alapokra támaszkodva, ugyanakkor talán érthető módon egy kicsit megkönnyítse az eligazodást a rotaméterek átkalibrálásában.

A tudományosság látszatát keltve induljunk ki a rotaméter átfolyási egyenletéből:

$$V = \alpha\varepsilon\sqrt{gkd^5\left(\frac{\rho_u}{\rho}-1\right)}$$

ahol

α : átfolyási szám

ε : expanziós szám *(folyadékok esetén értéke 1)*

g : nehézségi gyorsulás értéke

k : az lebegőtest *(továbbiakban **úszó**)* alakjára jellemző térfogati tényező $k = \frac{m_u}{\rho_u d^3}$

$\mathbf{m_u}$: az úszó tömege

d : az úszó legnagyobb átmérője

ρ_u : az úszó sűrűsége

ρ : a közeg sűrűsége *(a kalibrálásnak megfelelő hőmérsékleten és nyomáson)*

A lebegőtestes áramlásmérőkben folyó áramlások hasonlóságának eldöntésére az α: átfolyási számban lévő, dimenzió nélküli szám, az úgynevezett Ruppel-szám áll a rendelkezésünkre. Értéke:

$$Ru = \frac{\eta}{\sqrt{gkd^3\rho^2\left(\frac{\rho_u}{\rho}-1\right)}}$$

ahol

η : a közeg dinamikus viszkozitása

A Ruppel-szám a gyakorlati számításokban nélkülözhetetlen állandó, amelynek nagy előnye, hogy egy meghatározott lebegőtest *($\mathbf{k}$, $\mathbf{d}$, ρ_u)* esetén csak az áramló közeg fizikai jellemzőitől *(ρ, η)* függ, de nem függ a közeg térfogatáramától és az úszó magassági helyzetétől sem. Egy lebegőtestes áramlásmérőben folyó két különböző áramlás —a méretezés szempontjából— akkor egyforma, ha az áramlásra felírt Ruppel-szám azonos.

Mivel a rotaméter gázok, vagy folyadékok térfogatáramát méri, meg kell adni a közegnek azt az állapotát, amelyre a műszer térfogatáram skálája —a kalibrálás— érvényes.

Megjegyzés: A „kalibrálás” szót jelen esetben nem a méréstechnikai értelmében — egyfajta hitelesítési eljárásként— alkalmazzuk, hanem azt a folyamatot jelöljük vele, amikor a skálát elhelyezzük a mérőcső oldalára a mérendő közeg áramlástechnikai jellemzőinek a függvényében. Azaz például rátesszük a skálára a „100 l/h” jelölést, ami azt a magasságot mutatja, ahol az úszó tartózkodik, amikor a mérőcsőben a közeg áramlása pont 100 l/h.

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

A rotaméter kalibrációs állapota alatt a közeg megnevezését, annak nyomását és hőmérsékletét értjük. *(Például: levegő 20°C, 1,013 bar abs)* Ezeket az adatokat a rotaméterek oldalán mindig feltüntetjük. Ha a ténylegesen átáramló közeg állapota ettől eltér, akkor a rotaméter által mutatott térfogatáram értékét helyesbíteni kell. A műszaki gyakorlatban ez az eltérés leggyakrabban abból adódik, hogy a rotaméter más nyomáson, más hőmérsékleten működik, esetleg más közeget mér, mint amire kalibrálták. Ha az átáramló közeg állapotának eltérése a kalibrálási állapottól nem számottevő, akkor feltételezhetjük, hogy

$$\mathrm{Ru} \cong \text{állandó}$$

tehát

$$\alpha \cong \text{állandó}$$

és

$$\varepsilon \cong \text{állandó}$$

Ekkor a rotaméter átfolyási egyenlete leegyszerűsíthető az alábbi képletre:

$$V = \text{const}\sqrt{\frac{\rho_u}{\rho} - 1}$$

illetve a kalibrálási állapottól kissé eltérő állapotban:

$$V^* = \text{const}\sqrt{\frac{\rho_u}{\rho^*} - 1}$$

ahol a ***** index a kalibrált állapottól való eltérést jelzi.

A két egyenlet hányadosát korrekciós tényezőnek nevezve kapjuk:

$$c = \frac{V^*}{V} \cong \sqrt{\frac{\frac{\rho_u}{\rho^*} - 1}{\frac{\rho_u}{\rho} - 1}}$$

Ha tehát a rotaméter által mutatott **V** térfogatáramot ***c*** korrekciós tényezővel megszorozzuk, akkor a ρ-val jellemzett kalibrálási állapottól csak kissé eltérő $\boldsymbol{\rho^*}$ sűrűségű közeg korrigált $\mathbf{V^*}$ térfogatáramát kapjuk.

$$V^* = cV$$

Ha gázáramlást mérünk, akkor feltételezzük, hogy az úszó sűrűsége nagyságrendekkel nagyobb a mért gáz sűrűségénél, azaz

$$\rho^*, \rho << \rho_u$$

vagyis a korrekciós tényező még egyszerűbben felírható

$$c = \frac{V^*}{V} \cong \sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}$$

Ezzel a képlettel meghatároztuk azt a számot, amellyel a „rosszul” méretezett mérőcsőről leolvasott értéket megszorozva megkaphatjuk az áramlást helyes értékét.

Most néhány példán nézzük meg ennek gyakorlati alkalmazását.

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

Átszámítások:

Meglévő rotamétereket más közegekre alkalmazva korrekciót kell alkalmaznunk a helyes érték megállapításához. Alapvetően három esetet különböztetünk meg. Folyadékok, normál állapotú gázra méretezett és nem normál állapotra méretezett skála.

1. Folyadékok

Folyadékok esetében nem alkalmazhatjuk a fenti egyszerűsítést, mivel az úszó sűrűsége nagyságrendben összemérhető a közeg sűrűségével. Így a leírt képlet alapján a szorzótényező:

$$c = \frac{V^*}{V} \cong \sqrt{\frac{\frac{\rho_u}{\rho^*} - 1}{\frac{\rho_u}{\rho} - 1}}\,.$$

Ezen értékkel a leolvasott értéket megszorozva kapjuk a kalibrálási állapottól eltérő folyadék tényleges átáramlását. Azaz

$$V^* = \sqrt{\frac{\frac{\rho_u}{\rho^*} - 1}{\frac{\rho_u}{\rho} - 1}}\,V$$

Példa:

Kiindulási adatok:

	A kalibrálási állapot	*A mért közeg*
közeg neve:	*víz*	*alkohol*
hőmérséklete:	*20°C*	*5°C*
sűrűsége:	*998 kg/m³*	*890 kg/m³*
viszkozitása:	*1 mPas*	*1,1 mPas*

az úszó sűrűsége 7850 kg/m³ és a mérés során 1500 l/h-nál áll.

Tehát:

- ρ_u *: 7850 kg/m³*
- ρ *: 998 kg/m³*
- ρ^* *: 890 kg/m³*
- V *: 1500 l/h*

Ha elhanyagoljuk a viszkozitás okozta hibát, akkor a kiindulási adatokat a fenti korrekciós egyenletbe helyettesítve azt kapjuk, hogy a leolvasott vízáramnak mintegy 6,7%-kal több alkoholáram felel meg. Azaz a mérés során a tényleges alkoholáram ***V**** *= 1,067 x 1500 l/h ≅* ***1600*** *l/h volt.*

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

2. Gázok, normál skála

Ez esetben a leolvasott érték a normál állapotnak *(0°C, 1,013 bar abs)* megfelelő térfogategységet jelzi. Ezt az állapotot az 1993 előtti előállítású mérőcsöveink esetén a V_n; míg az ezt követő gyártásból származókon a méréstartományban szereplő ***N*** jelzi. Pl:

$$\mathbf{V_n}=10\text{-}100\ m^3/h \text{ levegő}$$

vagy

$$10\text{-}100\ \mathbf{N}m^3/h \text{ levegő}$$

Az ilyen skálával ellátott mérőcsöveken a leolvasott érték mindig a gáz normál állapotára vonatkozik, azaz a mérőcsőben az oldalán megadott nyomású gáz áramlik, de a skálán leolvasott érték a normál állapotú *(0°C, 1,013 bar abs)* gáz mennyiségét jelöli. A valóságos gázállapotnak megfelelő áramlás az egyesített gáztörvénnyel számítható.

$$\frac{pV}{T}=\frac{p_0V_0}{T_0}$$

azaz

$$V=\frac{p_0T}{pT_0}V_0$$

ahol

p_0 : a légköri normál nyomás értéke *(1,01325 bar abs)*

p : a mérőcső oldalán megadott kalibrálási nyomás abszolút értéke
(pl. 2 bar üz. ny. + 1,01325 bar abs = 3,01325 bar)

T_0 : 273,15°K = 0°C

T : a mérőcső oldalán lévő kalibrálási hőmérséklet Kelvin fokban megadott értéke
(pl. 20°C = 293,15°K)

V_0 : a mérőcsőről leolvasható normál állapotú áramlási érték

vagy egyszerűbben

$$V=a\frac{T}{p}V_0$$

ahol

a : $3{,}7095*10^{-3}\left[\frac{bar}{^\circ K}\right]$

Ha a mérőcsövön nem a kalibrációnak megfelelő gáz áramlik, nyilvánvalóan korrekcióra van szükség. Ezt a fent kiszámolt, *nem normál* állapotú gáz áramlási értékével tehetjük meg. Azaz

$$V^*=cV=a\frac{T}{p}\sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}V_0$$

Az így kapott áramlási érték természetesen szintén *nem normál* állapotban értendő, tehát annak normál állapotra konvertálásához ismét az egyesített gáztörvényt kell felhasználnunk.

$$\frac{p^*V^*}{T^*}=\frac{p_0V_0^*}{T_0}$$

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

azaz

$$V_0^* = \frac{p^* V^*}{a T^*}$$

Mindezt az előző egyenletbe behelyettesítve kapjuk a normál állapotú skálával szállított mérőcsövek korrekciós képletét:

$$V_0^* = \frac{p^*}{p}\frac{T}{T^*}\sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}V_0$$

Megjegyzés: A képletekben szereplő ρ a közeg sűrűsége a kalibrálásnak megfelelő hőmérsékleten illetve nyomáson. Ezt az értéket a minőségi bizonyítványon lehet megtalálni. A mérőcső oldalán nem ez az érték, hanem a normál állapotnak (20°C; 1,013 bar abs) megfelelő sűrűség van feltüntetve.

Példa:

Kiindulási adatok:

	A kalibrálási állapot	*A mért közeg*
közeg neve:	*levegő*	*levegő*
hőmérséklete:	*20°C*	*40°C*
nyomása:	*1,5 bar üz. ny.*	*3 bar üz. ny.*
sűrűsége:	*2,988 kg/m^3*	*4,467 kg/m^3*

a mérés során az úszó 10 Nm^3/h-nál áll.

Tehát:

- ***p*** *: 1,5 bar + 1,013 bar abs = 2,513 bar abs*
- ***p**** *: 3 bar + 1,013 bar abs = 4,013 bar abs*
- ***ρ*** *: 2,988 kg/m^3*
- ***ρ**** *: 4,467 kg/m^3*
- ***T*** *: 20°C + 273,15°K = 293,15°K*
- ***T**** *: 40°C + 273,15°K = 313,15°K*
- ***V*** *: 10 Nm^3/h*

A fenti adatokat a korrekciós képletbe helyettesítve azt kapjuk, hogy a tényleges légáram a leolvasott értéknél mintegy 22,23%-kal több. Így a mérés során a tényleges levegőáramlás 1,223 x 10 Nm^3/h ≅ ***12,23*** *Nm^3/h volt.*

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

3. Nem normál skála

A leolvasott érték a mérőcsövön feltüntetett hőmérséklet- és nyomásadatok mellett értendő áramlást jelzi. A skálaérték nem a normál állapotra vonatkozó térfogategységet mutatja, hanem a tényleges gázáramot. Ezt az állapotot a mérőcsöveken a normál állapotra vonatkozó *jelzés hiánya* jelöli. Pl:

1-10 m^3/h levegő

Ebben az esetben az átszámításhoz nem kell elvégezni a normál állapotról való korrekciót. Így a

$$V^* = cV$$

azaz

$$V^* = \sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}V$$

Természetesen az egyesített gáztörvény segítségével a normál értéket is megkaphatjuk:

$$V_0^* = \frac{p^* V^*}{aT^*}$$

azaz behelyettesítve:

$$V_0^* = \frac{p^*}{aT^*}\sqrt{\frac{\rho}{\rho^*}}V$$

Példa:

Kiindulási adatok:

	A kalibrálási állapot	*A mért közeg*
közeg neve:	*levegő*	*oxigén*
hőmérséklete:	*20°C*	*20°C*
nyomása:	*1,013 bar abs*	*0,2 bar üz. ny.*
sűrűsége:	*1,205 kg/m^3*	*1,594 kg/m^3*

a mérés során az úszó 6 m^3/h-nál áll.

Tehát:

p* : *0,2 bar + 1,013 bar abs = 1,213 bar abs*

ρ : *1,205 kg/m^3*

ρ* : *1,594 kg/m^3*

T* : *20°C + 273,15°K = 293,15°K*

a : $3{,}7095 \cdot 10^{-3} \left[\frac{bar}{°K}\right]$

V : *6 m^3/h*

A fenti adatokat a korrekciós képletbe helyettesítve azt kapjuk, hogy a tényleges oxigénáramlás a leolvasott érték mintegy 86,9%-a. Így a mérés során a tényleges oxigénáramlás 0,869 x 6 m^3/h ≅ ***5,22*** *m^3/h volt.*

Ugyanez az érték normál állapotra átszámítva ***5,82*** *Nm^3/h oxigén.*

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu

Még egyszer fontos hangsúlyozni, hogy a fenti levezetések alapján a rotaméterről leolvasott értékeket korrigálni csak akkor lehet, ha az átáramló közeg állapotának eltérése a kalibrálási állapottól nem számottevő. Ellenkező esetben a rotaméter korrekcióját csak a mérőcső geometriai viszonyait is tartalmazó

$$\alpha=\alpha_{(Ru,\ \delta,\ \text{geometriai viszonyok})}$$

empirikusan meghatározó függvénykapcsolatok ismeretében végezhetők el.

Annak eldöntése, hogy egy adott rotaméteren átfolyó, a kalibrálási állapottól eltérő állapotú közegre még alkalmazható-e a korrekciós eljárás vagy sem, a Ruppel-számok ismeretében lehetséges. A Ruppel-szám értékét meghatározó kifejezésből látható, hogy a számlálóban egyedül a közeg dinamikus viszkozitása szerepel. Különösen folyadékok esetén fordulhat elő, hogy a ténylegesen áramló folyadék viszkozitása többszörösen —akár több tízszeresen is— meghaladja a kalibrált közeg viszkozitását (pl. olajok, NaOH, H_2SO_4). Ilyen esetben a Ruppel-számok annyira eltérhetnek egymástól, hogy a korrekciós eljárás több tíz —esetenként több száz— százalékos hibát is eredményezhet.

Konkrét esetekben, ha nem dönthető el az eljárás alkalmazhatósága, kérjük, hívjanak fel telefonon. Valószínű, hogy tanácsaink segítségével közelebb kerülhetnek a probléma megoldásához.

Szabó Dénes
műszaki igazgató

UNIROTA Kft. ✉: H-4400 Nyíregyháza, Derkovits u. 132-136. ☎🖷: (42) 342-215; (42) 504-657; www.unirota.hu