

Kalibrácia prietokomerov (1)

Príspevok opisuje postupy Emerson Process Management pri kalibrácii a verifikácii prietokomerov.

Verifikácia činnosti prietokomerov

Kvalita, presnosť, stabilita a opakovateľnosť prietokomerov majú výrazný vplyv na kvalitu a ekológiu každej prevádzky. Parametre produktu, bilancie prepravy a únikov produktu sú primárne veličiny, ktorých neistota priamo určuje aj ekonomiku prevádzky. Verifikácia činnosti prietokomerov je nástroj na zistenie parametrov a stanovenie predpokladov, v akej kvalite budú zabezpečené merania prietoku cez daný prístroj. Prevádzkovateľ musí v prípadoch riadenia kvality produkcie (napr. podľa ISO 9000) dokladovať používanie len takých zariadení, ktoré pravidelne kontroluje. Je povinnosťou prevádzkovateľa zabrániť únikom nebezpečných médií do životného prostredia. Ak nemožno účinne zabrániť úniku škodlivých látok, treba preukázať ich množstvo meraním.

Každý prietokomer je kalibrovaný/prvotne nastavený vo výrobnom závode. V závislosti od typu prístroja je kalibračná krivka uložená buď v elektronike (EEPROM modul) alebo vo vyhodnocovacom zariadení. Kalibrácia sa obvykle realizuje v laboratóriách pri rôznych prietokoch, hustotách alebo teplotách meraného média. Pre väčšinu elektronických prietokomerov je výsledkom kalibrácie číslo, tzv. kalibračný faktor. Prietok je vypočítaný vynásobením meranej hodnoty na senzore kalibračným faktorom. Takto vypočítaný prietok musí korešpondovať s meranou hodnotou v celom pracovnom rozsahu meradla so stanovenou chybou.

Na kalibráciu v kalibračných laboratóriách výrobcu sa používa metóda založená na meraní hmotnosti pretečeného množstva vody. Laboratórium má napojenie na národné metrologické laboratórium.

V kalibračných laboratóriách (vzhľadom na zdĺhavosť hmotnostného merania prietoku) sú umiestnené aj sekundárne etalóny na rýchlu kalibráciu prietokomerov. Sú napojené (kalibrované) na etalón vyššieho rádu (napr. váženie). Kalibrácia vo výrobnom závode musí obsahovať všetky merané veličiny prietokomerov (v prípade Coriolisovho hmotnostného prietokomera sa vykonáva aj kalibrácia hustoty a teploty). Prietokomer v prevádzkových podmienkach vykazuje odchýlky od laboratórneho nastavenia. Tie majú vplyv na presnosť merania. Zistenia sú uvedené v dokumentácii zariadenia. Ako príklad možno uviesť vplyv zmeny teploty na presnosť výsledného merania (prídavná chyba 0,0003 % na každý °C teploty okolia odlišnej od teploty pri kalibrácii).

Na elimináciu disproporcie medzi parametrami prevádzky a laboratória sa využíva verifikácia (proving) zariadenia. Verifikácia je kontrola parametrov na mieste inštalácie za rovnakých podmienok, aké má meranie prietokomerom. Výsledok verifikácie je korekčný faktor. Ten sa násobí údajom prietokomera. Potrebnou podmienkou úspešnej verifikácie je zistenie a zakomponovanie čo najviac podobných podmienok prostredia do verifikácie, aké má prostredie overovaného meradla. Ak sú prevádzkové prístroje veľmi stabilné, odporúča sa robiť verifikáciu pre každú podobnú skupinu podmienok zvlášť. Pri meraní sa použije korekčný faktor získaný za podmienok najviac podobných aktuálnym.

Verifikácia prietokomerov je dôležitá na zistenie, či odlišnosť a variabilita prevádzkových podmienok nemá vplyv na metrolo-

gické charakteristiky meracieho prístroja. Najčastejšie verifikovanými veličinami sú prietok a hustota. Najčastejšie prípady, kedy využívame verifikáciu, sú:

- fakturačné a bilančné merania,
- kontrola kvality,
- kontrola ochrany životného prostredia.

Úlohou verifikácie je zaistiť, aby hodnota indikovaná meracím prístrojom bola zhodná s hodnotou etalónu. Základná rovnica aplikovateľná pre prietok aj pre hustotu je:

$$k_{MFC} = \frac{f_E}{f_M} \quad (1)$$

kde k je korekčný faktor prístroja a
 f – indikovaná hodnota etalónu, resp. meracieho prístroja.

Stanovenie periódy verifikácie

Určujúcim prvkom je výkon meracieho prístroja medzi jednotlivými verifikáciami. Najčastejšie sa sleduje skupina podobných prístrojov na podobných aplikáciách a podľa výsledkov monitoringu sa určí perióda verifikácie pre konkrétny prípad. V prípadoch prvotnej inštalácie sa odporúča verifikácia minimálne jedenkrát mesačne. Neexistuje všeobecné odporúčenie o frekvencii verifikácie. Ak sa zistí, že korekčný faktor je konštantný, možno periódu verifikácie predĺžiť. Neodporúča sa však predlžovať periódu na viac ako jeden rok.

Analýza výsledku verifikácie musí obsahovať:

- dátum a čas,
- meno obsluhy verifikačného prístroja,
- hodnoty prietoku, objemu, resp. množstvo cez overovaný a verifikačný prístroj,
- teplotu a tlak v meracom prístroji,
- hustotu v meracom prístroji,
- teplotu okolia,
- podmienky inštalácie meracieho prístroja,
- základné množstvo definované verifikačným prístrojom (prover),
- teplotu, tlak a hustotu média cez verifikačný prístroj (prover).

Ak sú skutočné priebehy jednotlivých veličín premenné, treba vykonať aj sériu verifikácií pre každú podmienku. Výsledkom je zistenie, či korekčný faktor reprezentuje výkon meracieho prístroja pre celý rozsah merania a pracovných podmienok. V opačnom prípade treba použiť sadu rôznych korekčných faktorov pre rôzne podmienky merania.

Na verifikáciu sa odporúča používať vysokokvalitné zariadenie (prover). Požiadavkou je veľmi dobrá presnosť, opakovateľnosť a mobilita zariadenia. Najčastejšie používané zariadenia sú:

- gravimetrické tanky,
- objemové tanky,
- konvenčné rúrkové provery,
- provery s malým objemom,
- objemové master metery,
- hmotnostné master metery.

Objemová verifikácia

Výsledkom merania je objemový prietok. Pri rýchlostných a objemových meradlách treba zohľadniť teplotu a tlak, aby bol výpočet aktuálneho objemového prietoku správny. Pri hmotnostných

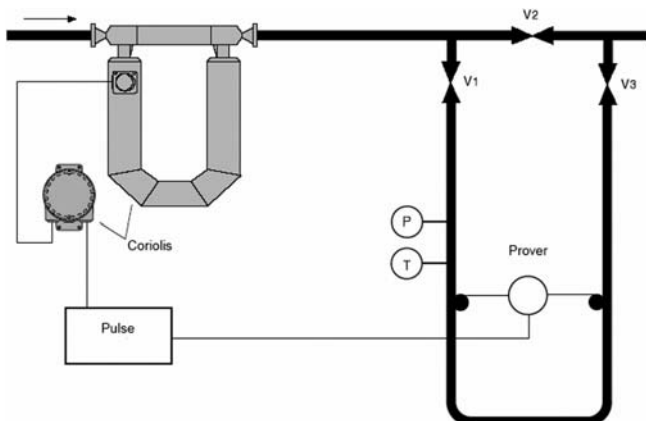


meradlách treba hmotnostný prietok deliť údajom o aktuálnej hustote meraného média. Často, hlavne v petrochemickom priemysle, sa vyžaduje údaj o objeme prepočítanom na vzťažné podmienky (tlak 101,325 kPa, abs a teplota 15 °C). Verifikácia sa robí kontrolou objemu pri vzťažných podmienkach. Obr. 1 ukazuje minimálnu konfiguráciu meracieho prístroja a provera.

Všeobecne platí:

$$\dot{V}_{15^{\circ}\text{C}} = \dot{V} \cdot k_{TLM} \cdot k_{PLM} \quad (2)$$

kde $\dot{V}_{15^{\circ}\text{C}}$ je objemový prietok prepočítaný na 15 °C,
 \dot{V} – objemový prietok pri aktuálnych podmienkach,
 k_{TLM} – faktor teplotnej rozťažnosti média v meracom prístroji a
 k_{PLM} – korekčný faktor na vplyv zmien tlaku média v meracom prístroji.



Obr.1 Minimálna konfigurácia objemového provera

Opis príkladu:

Pri verifikácii je etalón pripojený do série s preverovaným prístrojom. Prúdiace médium posúva nejakú priehradku (piest, koliesko, zarážku) v presne definovanom potrubí. Elektronika vyhodnocuje priechod priehradky cez citlivé detektory a pomocou merania teploty a tlaku vypočíta objemové množstvo prejdenej prístrojom. Na správnu funkciu celého zariadenia je veľmi dôležitý ventil V2, pri prebiehajúcej verifikácii musí byť absolútne tesný. Často sa používajú tzv. double block and bleed, ktoré neustále verifikujú svoju činnosť.

Pri použití objemovej metódy verifikácie treba dodržať nasledujúce podmienky:

- Tlak a teplota meraného média v etalóne (proveri) a v meracom prístroji musia byť rovnaké, príp. veľmi podobné.
- Treba použiť len jeden ventil na zastavenie prietoku senzorm – prietokomerom (na nastavenie nulového prietoku). Len pri médiách, ktoré signifikantne expandujú pri náhlom uzavretí prietoku, treba inštalovať ešte ventil na vstupnom potrubí.

Postupnosť krokov verifikácie:

1. kontrola správnej funkcie prietokomeru ešte pred verifikáciou; kontrola nuly, diagnostika obvodov elektroniky a autotest SW blokov;
2. pripojenie etalónu/provera na pripájacie body meracieho systému (nie je potrebné pri stabilnom zapojení); pri mobilných zostavách možno použiť flexibilné hadice (pre jednoduchú manipuláciu); treba použiť také materiály, ktoré sú tlakovo i teplotne dostatočne odolné proti rozťažnosti;
3. otvorením ventilov V1 a V3 a zatvorením ventilu V2 zapojiť provera do série s overovaným prístrojom; treba nechať merané médium prúdiť minimálne 10 minút pre ustálenie teplotných podmienok;
4. kontrola únikov, odvdzdušnenie;
5. pripojenie výstupu z meracieho prístroja (impulzný výstup) a z detektorov provera na vyhodnocovacie zariadenie;

6. aktivácia prístrojov na meranie tlaku a teploty pre kompenzáciu skutočných hodnôt;
7. vloženie verifikačnej priehradky;
8. vykonanie dvoch až troch skúšobných meraní na kontrolu teplotnej stability merania;
9. vykonanie série meraní s cieľom získať hodnoty korekčného faktora; pri konvenčných rúrkových proveroch s prerušovaným režimom treba vykonať minimálne 5 meraní, pri proveroch s malým objemom minimálne 3 merania, každé s minimálne desiatimi priechodmi verifikačnej priehradky;
10. zaznamenávanie priebehu teploty, tlaku a prietoku na výpočet korekčného faktora;
11. uskutočnenie verifikačných výpočtov.

Opakovateľnosť verifikácie je vypočítaná porovnaním výsledkov minimálne 3 meraní pomocou vzťahu:

$$\text{opakovateľnosť} = \frac{\text{pulzy}_{\text{max}} - \text{pulzy}_{\text{min}}}{\text{pulzy}_{\text{min}}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Hodnota opakovateľnosti je údaj v percentách; impulzy sú určené z počtu impulzov meracieho prístroja pri jednotlivých meraniach. Opakovateľnosť musí byť menšia ako 0,05 %. V opačnom prípade vyhlásime verifikáciu za neúspešnú. Hodnota korekčného faktora sa vypočíta zo vzťahu:

$$k_{MCF} = \frac{BPV \cdot k_{TSP} \cdot k_{PSP}}{\text{pulzy}} \cdot K \quad (4)$$

kde BPV je základný objem provera (objem pri jednom prechode verifikačnej priehradky),

K – faktor – koeficient prevádzajúci počet impulzov na pretečené množstvo,

k_{TSP} – faktor teplotnej rozťažnosti materiálu provera a

k_{PSP} – faktor tlakovej kompresie materiálu provera.

Ak nemožno dodržať podmienky minimálnej konfigurácie, treba pripojiť ďalšie komponenty. Odlišné podmienky sú hlavne:

- tlak a teplota v proveri nie sú reprezentatívne vzhľadom na podmienky v meracom prístroji,
- prietok meracím prístrojom nemôže byť zastavený (na kontrolu nuly),
- vlastnosti média sú také, že treba implementovať vstupný ventil.

Obr. 2 ukazuje konfiguráciu provera s implementáciou obtoku a separátneho merania tlaku a teploty v meracom prístroji.

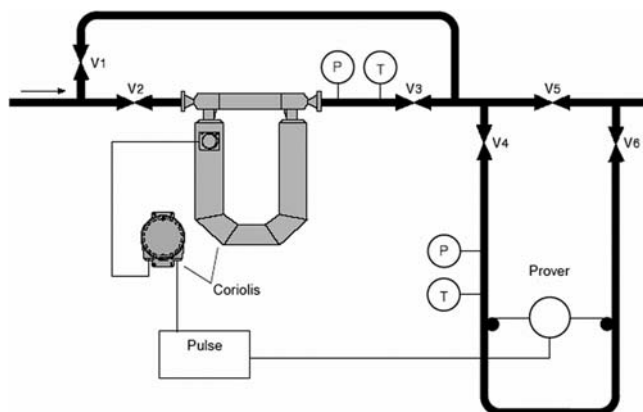
Postup verifikácie je veľmi podobný predchádzajúcemu prípadu, preto si uvedieme len vzťah na výpočet korekčného koeficientu:

$$k_{MCF} = \frac{BPV \cdot k_{TSP} \cdot k_{PSP} \cdot k_{TLP} \cdot k_{PLP}}{\text{pulzy}} \cdot k_{TLM} \cdot k_{PLM} \quad (5)$$

kde indexy pri koeficientoch označujú:

MCF – korekčný faktor meracieho prístroja,

TSP – faktor teplotnej rozťažnosti materiálu provera,



Obr.2 Maximálna konfigurácia objemového provera

- PSP* – faktor stlačiteľnosti materiálu provera,
- TLP* – faktor teplotnej rozťažnosti meraného média v proveri,
- PLP* – faktor stlačiteľnosti meraného média v proveri,
- TLM* – faktor teplotnej rozťažnosti meraného média v meracom prístroji,
- PLM* – faktor stlačiteľnosti meraného média v meracom prístroji.

Hmotnostná verifikácia

V prípade verifikácie pretečeného hmotnostného množstva treba upraviť konfiguráciu provera na meranie hmoty. Treba poznať hodnotu aktuálnej hustoty meraného média. Používajú sa nasledujúce metódy:

- vypočítaná zo známych hodnôt teploty a tlaku média; táto metóda je limitovaná len na médium so známym zložením a zo známou stavovou rovnicou;
- získaná z IN-LINE merania hustoty v proveri; odbočky na odber vzorky sa používajú na verifikáciu hustomera;
- získaná z merania hustoty pomocou Coriolisovho hmotnostného prietokomera umiestneného čo najbližšie k proveru; odbočky na odber vzorky sa používajú na verifikáciu meranej hustoty.

Pri médiách, kde nie je hustota konštantná, treba hustotu zaznamenávať a na výpočty použiť priemernú hustotu merania. Fluktuácie údajov hustoty môžu byť spôsobené zmenami tlaku a teploty alebo zmenou zloženia meraného média.

Minimálna konfigurácia hmotnostného provera je rovnaká ako minimálna konfigurácia objemového provera. Nároky na elektroniku provera sú väčšie o nutnosť výpočtu hustoty z meraného tlaku a teploty. Výpočet korekčného faktora sa robí pomocou vzťahu:

$$k_{MCF} = \frac{BPV \cdot k_{TSP} \cdot k_{PSP} \cdot \rho_P}{\text{pulzy}} \cdot K - \text{faktor} \quad (6)$$

kde ρ_P je hodnota hustoty meraného média v proveri.

Obr. 3 ukazuje konfiguráciu provera s integrovaným IN-LINE meraním hustoty média.

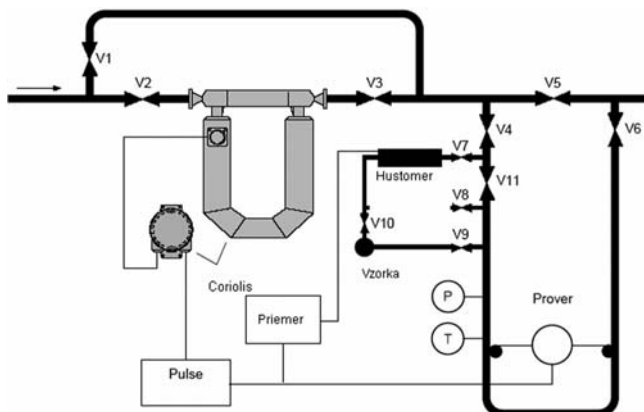
Pretože údaj o hustote získavame takisto meraním, treba urobiť aj verifikáciu hustomera. Zavádzame faktor korekcie hustoty provera *DF*:

$$DF = \frac{\text{hustota zo vzorky}}{\text{hustota z IN-LINE hustom}} \quad (7)$$

Korekčný faktor hmotnostného prietoku meracieho prístroja získame použitím rovnice:

$$k_{MCF} = \frac{BPV \cdot k_{TSP} \cdot k_{PSP} \cdot DF \cdot \rho_P}{\text{pulzy}} \cdot K - \text{faktor} \quad (8)$$

Keď nemožno inštalovať hustomer priamo do provera, príp. urobiť výpočet hodnoty hustoty zo stavových rovníc, možno použiť

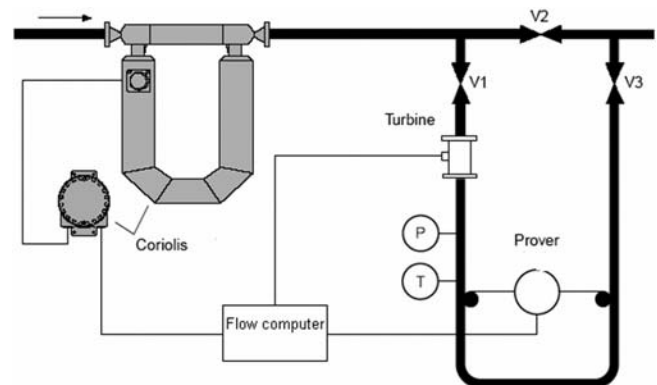


Obr.3 Hmotnostná verifikácia použitím IN-LINE hustomera

údaj o meranej hustote priamo z verifikovaného prietokomera. Táto metóda je pomerne často využívaná, pretože väčšina proverov je objemových. Pomocou prepočtov potom robíme hmotnostné pretečené množstvo na objemové, ktoré verifikujeme objemovým proverom. V týchto prípadoch je potrebné meranie teploty a tlaku prístroja aj provera. Na zistenie faktora *DF* treba inštalovať možnosť odberu vzorky na meranie hustoty média. Aby bolo možné použiť i v tomto prípade rovnice (5), (8), treba vypočítať hustotu média v proveri ρ_P z meranej hustoty v meracom prístroji ρ_M :

$$\rho_P = \rho_M \frac{k_{TLP} \cdot k_{PLP}}{k_{TLM} \cdot k_{PLM}} \quad (9)$$

Pri používaní malých objemových alebo poddimenzovaných konvenčných proverov je niekedy ťažké získať výsledky s vyhovujúcou opakovateľnosťou. Dôvodom je príliš malý rozmer provera oproti minimálnemu množstvu meracieho prístroja. Keď nemožno použiť rozmerovo adekvátny prover, možno použiť ďalší merací prístroj s definovanými metrologickými charakteristikami a s malou časovou konštantou. Väčšinou sa používa turbínkový prietokomer. Ten je najprv verifikovaný s konvenčným proverom. Potom je vykonaná verifikácia meracieho prístroja s týmto prietokomerom (etalón druhého rádu). Takto možno zlepšiť opakovateľnosť. Táto metóda sa často zamieňa s tzv. verifikáciou Master meter. Zásadný rozdiel je, že etalón druhého rádu je oproti proveru verifikovaný za prevádzkových podmienok merania. Master meter je oproti tomu kalibrovaný v laboratóriu.



Obr.4 Verifikácia prietokomera pomocou etalónu druhého rádu

Výpočet objemového korekčného koeficienta podľa vzťahu:

$$k_{MCF} = \frac{\frac{\text{pulzy turbínka}}{K - \text{faktor turbínka}} \cdot k_T}{\text{pulzy}} \cdot K - \text{faktor} \quad (10)$$

kde k_T je korekčný koeficient turbínkového prietokomera.

Na výpočet hmotnostného korekčného faktora sa používa vzťah:

$$k_{MCF} = \frac{\frac{\text{pulzy turbínka}}{K - \text{faktor turbínka}} \cdot k_T \cdot \rho_P \cdot DF}{\text{pulzy}} \cdot K - \text{faktor} \quad (11)$$

Hustota média v proveri sa vypočíta podľa vzťahu (9) a hodnota koeficientu *DF* podľa vzťahu (7).

Pokračovanie v budúcom čísle.

Ing. Attila Csölle

Emerson Process Management, s. r. o.

Hanulová 5b, 84101 Bratislava

Tel.: 02/64 36 19 73

Fax: 02/64 28 72 45

Mobil: 0903 705 270

e-mail: Attila.Csolle@EmersonProcess.sk

10