

ROTAMASS Total Insight - když chcete mít jistotu, že měříte přesně

Věkovitý (108 let!) výrobní závod ROTA-YOKOGAWA v německém Wehru je stejně jako prudce tekoucí Rýn pod jeho okny rapidně expandujícím podnikem, zejména v posledních pěti letech. Průtokoměry na Coriolisově principu ROTA vyrábí již 24. rok, avšak s masivními investicemi (přibližně 13 milionů eur) do inovací ve výrobě a do nejmodernějšího kalibračního střediska na kontinentu byly položeny zdravé základy pro čtvrtou generaci průtokoměrů ROTAMASS TI, jež jsou na trhu od května 2016. Přesné automatické ohýbání trubic, jejich digitální párování, vakuové



Obr. 1. Coriolisův průtokoměr Rotamass TI Prime RCUP25S 78 pro průtok do 2 300 kg/h

niklové pájení, nové odladění harmonických kmitů a mnoho dalších inovací zvýšily úroveň kvality nové řady průtokoměrů. Zavedení japonského systému řízení výroby nebylo snadné, ale minimalizace zmetkovitosti a nulová výroba na sklad přinášející jednoznačné ekonomické výsledky. Odcházející třetí generace průtokoměrů Rotamass měla jeden typ převodníku a jednu řadu senzorů, které se lišily požadovaným procesním připojením nebo doplňkovým pamřím otopem. Optimálně uspokojit různorodé požadavky, zejména malou tlakovou ztrátu, nebylo v podstatě možné. Průtokoměry Rotamass TI se senzory Nano (vnitřní průměr trubice od 0,9 mm), Prime (obr. 1: nová konstrukce s poloviční tlakovou ztrátou ve srovnání s předchozími typy), Supreme (nejpřesnější řada s inovovanými senzory), Intense (bezpečný snímač pro vysoké tlaky), Hygienic (koncept Prime se specifickými připojeními pro farmacii a potravinářství) a Giga (největší průtoky s vel-

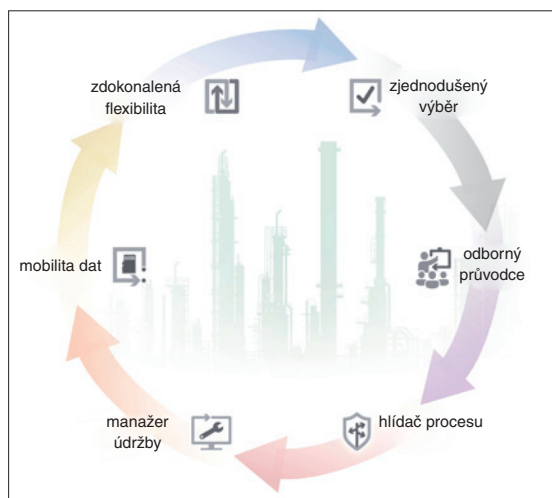
kou stabilitou nuly) s převodníky Essential a Ultimate s konceptem FOD (*Features On Demand* – vlastnosti na vyžádání) vycházejí přáním zákazníků plně vstříc. Nové převodníky mají mnoho vylepšení. Desetkrát rychlejší odečet fázového posunu (10 ms), zdokonalený digitální signálový procesor s Hilbertovou transformací a 32bitovým zákaznickým

Na počátku životního cyklu stojí „zjednodušený výběr“ vhodného průtokoměru. Šest produktových řad detektorů (viz přehled trhu na str. 32) se specifickými uživatelskými vlastnostmi, rozmanitá procesní připojení, dva typy převodníků Essential a Ultimate s odlišnou specifikací souboru funkcí i přesností a sedmáct různých variant konfigurace čtyř výstupních i vstupních kanálů poskytují prostor pro každý specifický požadavek zákazníka. Prostřednictvím uživatelsky příjemného prostředí výpočtového softwaru Flow Configurator je s využitím vstupních údajů snadné nalézt optimální rovnováhu mezi přesností měřidla ve stanoveném rozpětí, tlakovou ztrátou a světlostí, tedy pořizovací cenou.

„Odborný průvodce“ pomáhá k snadnému, přívětivému a rychlému zprovoznění i při složitějších úkolech, jako je dávkování, měření koncentrace, měření podílu oleje či jiného produktu v nosném médiu apod. Nová funkce „hlídač procesu“ detekuje podmínky, které jsou třeba k tomu, aby průtokoměr měřil s určenou přesností: tlak média, jeho teplotu, vibrace potrubí, zavzdušnění, ztrátu média, zanášení, přicpání a erozi nebo korozi trubic. Kontroluje posunuly a podmínky při její kalibraci. Rozlišuje události a generuje hlášení týkající se poruch měřidla (16), abnormalit procesu (27), chybných nastavení (39) nebo jen upozornění na blížící se problém (34). Správce událostí umožňuje nastavit interpretaci a chování průtokoměru nejen podle pravidel NAMUR NE 43 (*Standardisation of the Signal Level for the Failure Information of Digital Transmitters*) a NE 107 (*Self-Monitoring and Diagnosis of Field Devices*), ale také podle zadání uživatele. Tím lze předejít zahlcení nadřazeného systému alarmovými hlášeními a umožnit předávat jen ta nezbytně nutná. Kromě trendu na displeji (obr. 3) se události podle předvolby zaznamenávají do vnitřní paměti a na kartu microSD, se zápisem tří bloků před událostí a tří bloků po události, takže následná analýza příčin problémů je velmi jednoduchá.

„Manažer údržby“ za provozu periodicky kontroluje základní funkční celky průtokoměru:

- obvody budiče,
- obvody senzorů,



Obr. 2. Pohled na průtokoměr v celém životním cyklu

A/D převodem, zdvojené a přepínané snímání fázového posunu s automatickou kalibrací nuly v intervalu 20 ms a PI regulátor buzení s navýšením +30 % energie do budiče vedou k možnosti rychlého dávkování, větší přesnosti, stabilitě nuly a k přesnému měření i při výrazném zavzdušnění potrubí (pětikrát nižší chyba).

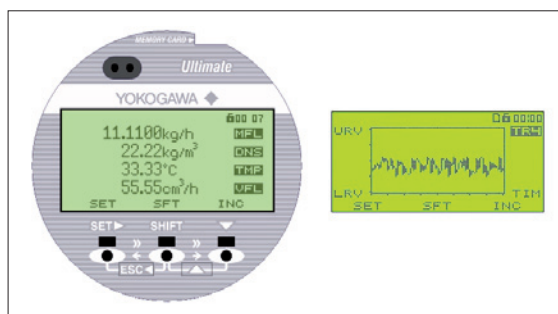
Převodník má šest nezávislých čítačů a čtyři sady uživatelských nastavení. K měření koncentrací lze využít čtyři nezávislé sady převodních tabulek nebo je spojit do dvou velmi detailních, s možností dálkového přepínání kontaktním vstupem. Pomocí prostředí Fieldmate je možné nastavení pro měření koncentrací provést u zákazníka, bez nutnosti intervence z výrobního závodu. Převodníky nyní také umožňují dynamickou kompenzaci vlivu statického tlaku na tuhost měřících trubic, přestože díky mimořádně robustním měřícím trubicím je vliv změn tlaku zanedbatelný a oproti přístrojům jiných výrobců přibližně 8,5krát menší.

Koncepce Total Insight

Průtokoměry Yokogawa Rotamass TI (Total Insight) snižují provozní výdaje zákazníka v každé fázi svého životního cyklu (obr. 2).

- stav (tuhost) trubíc,
- hardware i software převodníku.

Přístup k převodníku je tříúrovňový (obsluha, údržba, specialista) s nastavitelným rozsahem povolených úkonů. Při použití v úlohách s požadovanou funkční bezpečností SIL 2 je přístup k nastavením blokován. S pomocí diagnostického softwaru Fieldmate lze vytisknout nastavení přístroje i s vypočtenou očekávanou chybou měření průtoku, hustoty, koncentrace a po kontrole celkového „zdravotního“ stavu lze vytisknout protokol potvrzující spolehlivost a přesnost měření bez jeho přerušování. K převodníku je možné se připojit bez nutnosti otevírat kryty prostřednictvím sběrnice Modbus a bezdrátového seriového portu IrDA.



Obr. 3. Variabilní informativní displej s možností zobrazení trendů

„Mobilita dat“ je další funkce v životním cyklu průtokoměru. Zabezpečuje ji karta microSD (1 GB) pro zálohování, multiplikaci nastavení, variantní nastavení podle úlohy a zejména pro dálkovou údržbu a servis. Karta rovněž obsahuje instrukční manuály, výkresovou dokumentaci, Fieldmate Lite, soubory DD (Device Description) a DTM (Device Type Manager), komunikační nástroj pro Modbus, kalibrační a jiné certifikáty, seznam náhradních dílů a nastavení výrobce i uživatele.

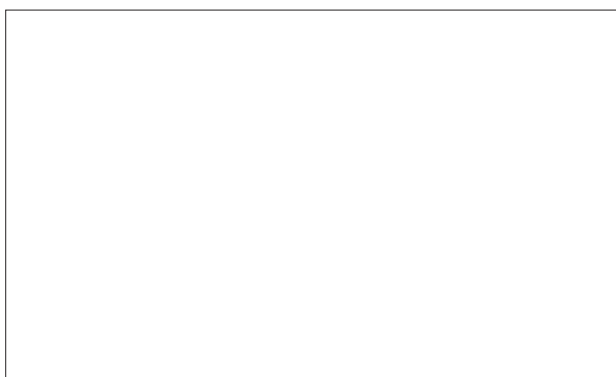
Protože se během užívání průtokoměru mohou požadavky a podmínky měření měnit, uživatel u převodníku Ultimate ocení funkci „zdokonalená flexibilita“. Tato funkce umožňuje po zakoupení licencí a přidělení hesel odemknout přídatné funkce, které přístroj má interně k dispozici, ale nebyl důvod je při původní investici nakupovat (řízení dávkování, měření běžné i detailní koncentrace, výpočet množství oleje a plynné složky podle americké petrochemické normy API, kontrola netěsnosti trubíc, měření viskozity, výpočet výhřevnosti – i v anglosaských jednotkách BTU, referenční hustota podle API, kontrola zdravotního stavu trubíc).

Koncept Total Insight dává tedy uživateli jistotu, že:

- jeho výběr měřidla vzhledem k zadání byl optimální a zbytečně neplatí víc, než musí,
- nastavení a nulování průtokoměru jsou v pořádku (ví, jakou chybu může očekávat),
- průtokoměr dá včasné varování, když očekávaná přesnost není vlivem provozních podmínek dosažitelná,
- průtokoměr dá informaci o svém zdravotním stavu, kterou lze dokladovat, a zavolá ho k údržbě, když to bude potřebovat,
- má všechny doklady, certifikáty i údaje k servisu a údržbě vždy k dispozici,
- bude-li potřebovat rozšířit soubor funkcí měřidla, nemusí kupovat nové nebo je posílat zpět výrobci.

Jak zajistit nepřetržitou kvalitu měření?

Svou popularitu získaly Coriolisovy průtokoměry, i přes svou nemalou pořizovací cenu, vynikající přesností, přímým měřením hmotnostního průtoku, spolehlivostí a malou tlakovou ztrátou. Ve velké míře jsou využívány v chemickém průmyslu, kde nevodivost média nebo požadovaná přesnost neumožňu-



Obr. 4. Jaké jsou náklady na jednoduchou recalibraci, je-li průtokoměr umístěn v takovéto lokalitě?

jí použít levnější indukční průtokoměry. Stabilitní kvalita produkce v chemickém průmyslu velmi těsně souvisí s dodržením konstantních výrobních podmínek, a tedy i se stabilitou použitých měřidel průtoku. Jejich periodická kalibrace poskytuje uživateli údaj o nejistotě za laboratorních podmínek, jestliže se průtokoměry kalibrují mimo provoz, nebo o celkové nejistotě za provozních podmínek při použití pojízdných kalibrátorů. V obou případech je kalibrace velmi nákladný, časově náročný a při požadavku na nepřetržitý provoz někdy těžko proveditelný úkol (obr. 4). K ceně za kalibraci je nutné připočítat také demontáž, čištění, balení, dopravu, montáž a provozování.

Přestože Coriolisovy průtokoměry mají robustní konstrukci a Yokogawa mezi výrobci vyniká tloušťkou stěn měřících trubíc (3,9 až

12 % z vnitřního průměru), může při měření abrazivních nebo chemicky agresivních médií docházet k mírnému opotřebení a ztenčení stěny a tím i poklesu tuhosti trubíc. Yokogawa intenzivně testovala vliv korozního opotřebení na přesnost a zjistila, že např. u měřidla Supreme 36 (0,5 až 10 t/h) úbytek tloušťky trubice o 0,05 mm (4 %) způsobí pokles tuhosti a tím i nárůst chyby na 3 % z okamžitého hmotnostního průtoku a přibližně 6,5 % z okamžité hustoty. Stabilitní kvalitu měření Coriolisovými průtokoměry lze zajistit jen včasnou kontrolou změny tuhosti měřících trubíc. Klasická diagnostika elektrických obvodů a chodu firmwaru není pro posouzení stavu průtokoměru dostačující.

Princip činnosti hmotnostního Coriolisova průtokoměru

Aby bylo zřejmé, jak souvisí změna tloušťky stěny trubíc s jejich kalibračním faktorem, bude užitečné si připomenout trochu teorie související s Coriolisovými průtokoměry. Na obr. 5 je ve stručnosti popsán princip funkce průtokoměru. Měřené médium prochází dvěma trubícemi ve tvaru U, které jsou pomocí budiče E rozkmitány a oscilují na vlastní rezonanční frekvenci f_c s úhlovou rychlostí Ω . Pohybuje-li se hmotný bod média δ_m od středu rotující trubice rychlostí v , působí kolmo na jeho dráhu tzv. Coriolisova síla F_c , na obrázku F_1 , která se snaží brzdít rotační pohyb trubice. Naopak v případě, že se hmotný bod pohybuje ke středu otáčení trubíc, je účinek síly $F_c = F_2$ souhlasný s pohybem trubice a její výchylka při oscilacích je větší. Coriolisova síla vyjádřená vztahem (1) působí na poloměru d krouticím momentem T_c (2) a způsobuje zkroucení měřících trubíc o úhel θ .

$$\delta \vec{F}_c = \delta m \vec{a}_c = \delta m 2 \vec{\Omega} \vec{v} \quad (1)$$

$$\vec{T}_c = \vec{F}_c d = m \vec{a}_c d = \rho S l 2 \vec{\Omega} \vec{v} d \quad (2)$$

Dosadí-li se místo hmotnosti m součin hustoty média ρ , vnitřního průřezu S a délky trubky l , kde Coriolisova síla vzniká, a $2\Omega \times v$ místo zrychlení a_c , získá se vztah, ve kterém lze přeskupením činitelů v součinu osamostatnit hmotnostní průtok $Q_m = \rho S v$. Pak vychází, že zkroucení o úhel θ je úměrné krouticímu momentu, který přímo souvisí s hmotnostním průtokem (3).

$$\theta \approx T_c \approx Q_m 2dl \quad (3)$$

Pohyb trubíc je snímán dvojicí senzorů S_1 a S_2 umístěných na příčných ramenech trubíc (cívka–magnet). Je-li průtok nulový, Coriolisova síla nepůsobí, trubice kmitají paralelně a signály senzorů mají identický sinusový průběh. Nenulový průtok způsobuje zakřivení trubíc a signál ze senzoru S_2 se proti S_1 začíná zpožďovat, viz obr. 5. Vyhodnocením fázového posunu $\Delta\phi$ lze detekovat krouticí moment Coriolisovy síly a tím kvantifikovat hmotnost-

ní průtok. V praxi jsou trubice namáhány nejen na krut, ale také na ohyb, uplatňuje se jejich tvar, který je odlišný od zidealizovaného tvaru U, pro který platí uvedené vztahy. Zavádí se tzv. konstanta senzoru $S_K(T, p, \rho)$, zohledňující jeho konstrukci (4). Protože rezonanční frekvence trubice a tím i úhlová rychlost Ω závisejí na hustotě média v trubicích, je tato konstanta senzoru závislá na hustotě a také na teplotě i tlaku.

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = S_K(T, p, \rho) \frac{\varphi}{f_r} \quad (4)$$

kde
 Q_m je hmotnostní průtok (kg/h),
 S_K konstanta senzoru (Hz·kg/h),
 f_r rezonanční frekvence (Hz),
 φ zkroucení trubice (rad).

Pro potřeby kalibrací a srovnávání průtokoměrů byla zavedena konstanta S_{K20} , udávající hodnotu konstanty při 20 °C, tlaku 100 kPa a hustotě vody. S_{K20} je přímo úměrná tuhosti trubice K . Pro zjednodušení je ve vztahu (5) uvedena tuhost přímé trubky namáhané na ohyb.

$$K(T, p) = E(T, p) 64 \frac{d_o^4 - d_i^4}{l^3} \quad (5)$$

kde
 $E(T, p)$ je Youngův modul pružnosti,
 d_o vnější průměr trubice,
 d_i vnitřní průměr trubice,
 l délka vyložení (poloměr ohybu trubice).

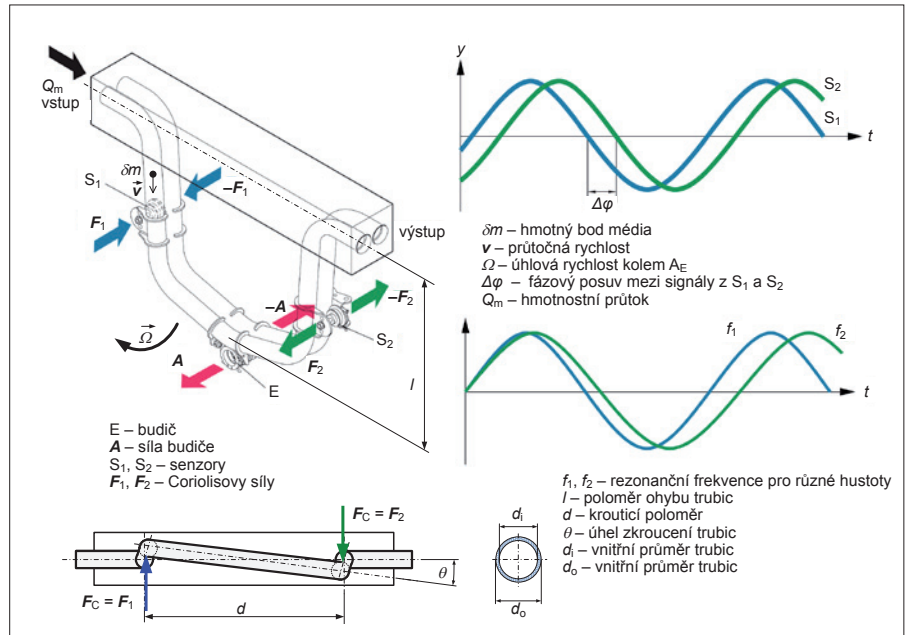
Ze vztahu (5), ve kterém vnitřní světlost trubky figuruje ve čtvrté mocnině, je zřejmý zásadní dopad ztenčení stěny trubky na její tuhost a tím i na měření hmotnostního průtoku.

Kontrola zdravotního stavu trubice

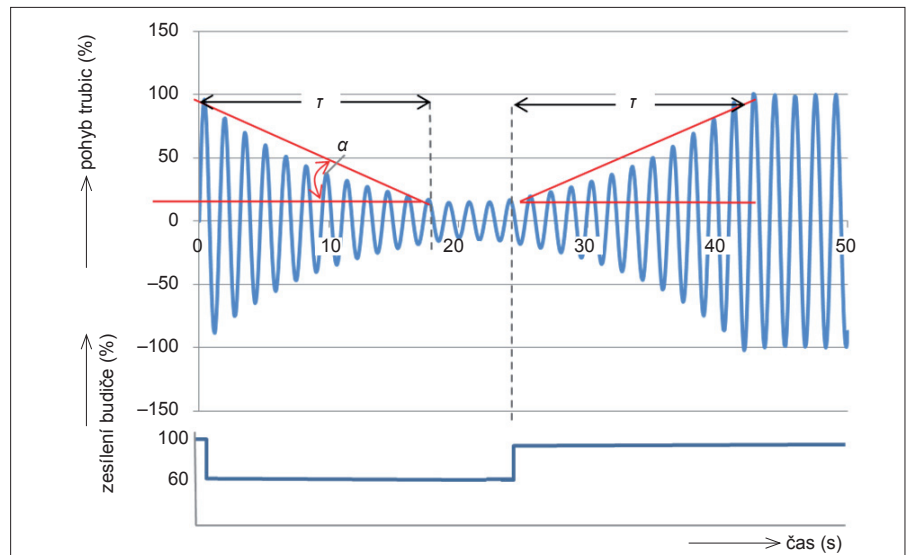
Způsob periodické kontroly tuhosti trubice (*tube health check*) je patentově chráněn (JP 4952820 B2). Vychází z poznatku, že rezonanční frekvence f_c je dána tuhostí trubice K a hmotností média m_f a trubice m_t podle vztahu (1). Zmenšující se tuhost má za následek pokles rezonanční frekvence:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{(m_t + m_f)}} \quad (6)$$

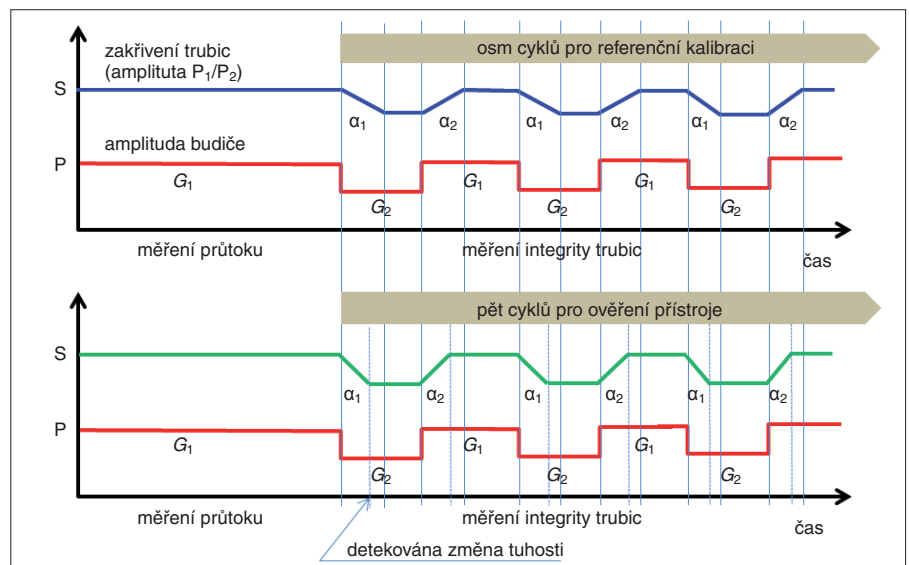
Do vztahu (4) pro hmotnostní průtok Q_m vstupuje rezonanční frekvence ve jmenovateli, a tedy pokles tuhosti vede ke kladné chybě průtoku. Vnitřní tvar trubice, jejich strukturu, tuhost i vnitřní objem – tedy hmotnost média v trubicích – ovlivňuje zvláště koroze či eroze. Tuhost má určitou retenční schopnost zachovat stávající amplitudu kmitů do jisté míry na původní úrovni. Zmenší-li se tuhost, je reakce na změnu amplitudy buzení rychlejší – strmost α změny amplitudy kmitů na snímané frekvenci je větší (obr. 6). Jestliže se sníží buzení o určitou hodnotu (na obr. 6 jen informativní hodnota), bude se amplituda na senzorech snižovat po dobu τ , dokud se



Obr. 5. Princip měření Coriolisova hmotnostního průtokoměru



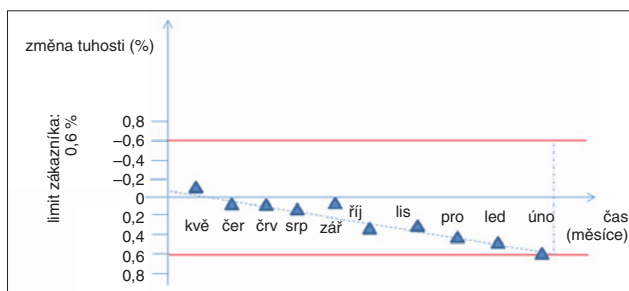
Obr. 6. Reakce amplitudy kmitů trubice na změnu zesílení budiče



Obr. 7. Kontrola zdravotního stavu trubice

neustálí na nové hodnotě. Na počátku kontroly se změří referenční tuhost (obr. 7). Následně lze např. s měsíční periodou provádět ověřovací měření, které trvá přibližně 90 s. Protože teplota a tlak mají na tuhost trubic podstatný vliv, doporučuje se vykonávat kontrolu v ustáleném režimu, tedy při přibližně stejné teplotě, tlaku i zavzdušnění. Ideální je měřit při uzavřeném potrubí, ale není to podmínka. Jedno měření nemá žádný význam. Je nutné vykonat několik měření, kdy převodník uchovává trend strmostí α_1 , α_2 a skokových změn budiče G_1 , G_2 a z nich vypočtené referenční tuhosti K_d (7). K_F je kalibrační faktor zjištěný při prvotní kalibraci. Pro následné referenční vyhodnocování tuhosti trubic K_d se stanoví $K_F = 1$.

$$K_d = (m_i + m_f)(2\pi f_{c20})^2 = M_d \omega^2 = K_F \frac{G_1 - G_2}{2(\alpha_1 - \alpha_2)} \omega^2 \quad (7)$$



Obr. 8. Nastavení limitní chyby a kalibračního intervalu

kde f_{c20} je rezonanční frekvence trubic při 20 °C,

$M_d = m_i + m_f$ referenční hmotnost trubice i média.

Změna referenční tuhosti o 0,1 % odpovídá nárůstu chyby měření o 0,1 %. Jestliže naměřené výsledky vypadají jako na obr. 8, lze nastavením hraniční hodnoty změny tuhosti indikovat termín nutné recalibrace, nechce-li uživatel dopustit horší přesnost. Tato funkce

bezpečně vyhodnotí nárůst chyby o 0,1 % a limita je nastavitelná od 0,1 do 5 %.

Kontrola zdravotního stavu trubic představuje cennou doplňkovou funkci průtokoměru Rotamass TI, která dává celkem reálnou představu o dosahované přesnosti za provozu a je schopna snížit náklady na údržbu a zabránit zbytečnému zastavení výroby.

Rotamass TI tak nastavil nový, nejvyšší standard užitečných vlastností, robustnosti a přesnosti mezi Coriolisovými průtokoměry na trhu. Vylepšením specifikací při reálných provozních podmínkách a podporou v průběhu životního cyklu přináší novou kvalitu všem uživatelům.

Tomáš Zetek, Yokogawa CZ/SK

► Diago 2018 – lednová konference o technické diagnostice

Technická diagnostika strojů a zařízení bude tématem mezinárodní vědecké konference DIAGO® 2018, která se uskuteční ve dnech 30. a 31. ledna 2018 v hotelu Orea Resort Devět Skal ve Sněžném-Milovech. Asociace technických diagnostiků ČR a Vy-

soká škola báňská – Technická univerzita Ostrava jako pořadatelé již 37. ročníku konference připravili odborný program zaměřený na měřicí metody, přístroje a prostředky používané v údržbě k objektivnímu zjišťování technického stavu, ale také na provozní zkušenosti z údržby strojů a zařízení. Do tematických okruhů patří teorie systémů údržby, tribotechnická a vibrační diagnostika, problematika ustavování strojů, termodiagnostika a diagnostika elektrických točivých strojů.

Posluchači se seznámí s modálními a strukturálními analýzami objektů a s informačními a řídicími systémy údržby.

V předvečer konference, tedy 29. ledna 2018, se uskuteční odborné setkání účastníků v prostorách hotelu Orea Resort Devět Skal. Tradiční odborné diskusní fórum bude zahájeno 30. ledna v 19:30 h. Podobnosti o programu, vložném a přihláškách zájemci najdou na <http://www.atdcr.cz/web/structure/119.html>. (ev)

Poznamenejte si!



DNY TEPLÁRENSTVÍ A ENERGETIKY

24. – 25. 4. 2018 | HRADEC KRÁLOVÉ

Kongresové, výstavní a společenské centrum ALDIS

www.dnytepen.cz, www.tscr.cz, www.exponex.cz

Pořadatel:



Organizátor:



Záštita:















