

Měření průtoku plynů – vše z jednoho zdroje

S plyny se setkáváme skutečně ve všech odvětvích průmyslu. Na většinu plynů, zejména užitkových, dodávaných prostřednictvím rozvodných sítí, se nahlíží jako na poměrně levný zdroj energie, a také se s nimi tak nakládá. Náklady na energii ovšem za posledních deset let dramaticky vzrostly, když např. cena zemního plynu se za tu dobu ztrojnásobila. Výsledkem je, že uživatelé na jimi spotřebovávané topné plyny stále častěji nahlížejí také jako na možný zdroj úspor. Náklady na energii nepatří do pevné režie – jedná se o náklady proměnné, takže neměří-li se, není možné je ani řídit. Společnost Endress+Hauser nabízí široký sortiment přístrojů umožňujících přesně a spolehlivě měřit průtok plynu, a to vždy v plném souladu s potřebami zákazníků.

Co je to plyn?

V denním životě se kolem nás běžně vyskytuje hmota ve třech svých základních skupenstvích:

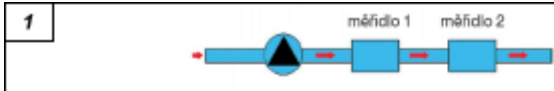
- pevném (např. dřevo nebo ocel),
- kapalném (voda, olej),
- plynném (vzduch, kyslík).

Podle definice jsou plyny látky nacházející se v plynném stavu při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku (např. kyslík). Vodní a jiné páry se za shora uvedených podmínek nacházejí ve skupenství kapalném. Z hlediska termodynamiky není ale mezi parami a plyny žádný rozdíl.

Proč se u plynů měří objem za standardních podmínek nebo hmotnost

Důležitou fyzikální vlastností plynů je jejich stlačitelnost (kapaliny se zpravidla pokládají za nestlačitelné): po stlačení pístu pumpičky na pneumatiky při uzavřeném výstupním ventilu v ní vzroste tlak. Další důležitou vlastností plynů je, že s růstem teploty roste jejich objem – čehož se využívá např. v teplovzdušných balónech.

Obr. 1. Příklad se stlačeným vzduchem: zatímco objem za normálních podmínek, a tudíž i hmotnost a jsou na vstupu i výstupu stejné, objemový průtok se výrazně mění



1	Médium	Nasávaný vzduch	Vzduch za kompresorem	Vzduch ke spotřebiteli
	Objemový průtok (m ³ /min)	100	18,3	14,8
	Teplota (°C)	20	100	20
	Absolutní tlak (MPa)	0,1	0,7	0,68
	Hustota (kg/m ³)	1,2	6,5	8,1
	Hmotnostní průtok (kg/min)	120	120	120
	Objemový průtok za normálních podmínek (Nm ³ /min)	100	100	100

Nejjednodušeji popisuje uvedené vlastnosti a z nich plynoucí chování plynů rovnice ideálního plynu

$$pV = mRT \quad (1)$$

kde p je tlak, V objem, m hmotnost, R plynová konstanta, T teplota

Z rovnice (1) plyne, že objem (měřený např. v krychlových metrech) a hustota plynu se budou s tlakem a teplotou měnit, avšak jeho hmotnost (v kilogramech, librách atd.) se nezmění (zákon zachování hmotnosti). To je důvod, proč je při měření množství plynů mnohem důležitější veličinou hmotnost než objem.

Množství např. zemního plynu nebo stlačeného vzduchu se měří jako objem za určitých standardních vztažných podmínek s jednotkou např. normovaný metr krychlový (neoficiální, ale běžně používaná značka Nm³ apod.). Uvedená jednotka (a jednotky z ní odvozené) se na první pohled jeví jako jednotky objemu, kterými ovšem nejsou. Objem za normálních podmínek je totiž hmotnost plynu definovaná prostřednictvím jeho hustoty za normálních podmínek (běžně teplota 0 °C a tlak 1 013,25 hPa; hustota 1,29 kg/m³ pro vzduch) – jde tedy o jednotku hmotnosti.

Obr. 2. Průtokoměry Endress+Hauser pro přímé měření hmotnostního průtoku: tepelné hmotnostní průtokoměry (vlevo) měří i velmi malé průtoky, Coriolisovy průtokoměry (vpravo) jsou známé svou přesností a tím že nevyžadují uklidňovací potrubí

Číselně ilustruje situaci obr. 1.

Měřit přímo hmotnost...

Společnost Endress+Hauser nabízí dva různé principy a jim odpovídající dvě skupiny přístrojů umožňujících měřit přímo hmotnostní průtok bez nutnosti korekce naměřeného údaje na standardní podmínky. Jsou to (obr. 2):

- Tepelné hmotnostní průtokoměry (typ Proline t-mass 65I), využívající vlivu proudění měřeného média na šíření tepla. Používají se k měření průtoku suchých a čistých plynů stálého složení s nejistotou až asi 1,5 % měřené hodnoty (hmotnosti); vyznačují se neobvykle velkou dynamikou měřicího rozsahu, až 100 : 1, takže mohou měřit i velmi malé průtoky.
- Coriolisovy hmotnostní průtokoměry (např. typ Proline Promass 80F), měřící také přímo hmotnostní průtok, a to prostřednictvím měření fázového posuvu pohybů vynuceně kmitajících měřicích trubic. S tímto typem průtokoměru lze dosáhnout nejistoty až asi 0,35 % naměřené hodnoty (hmotnosti) bez nutnosti instalovat uklidňovací přímé úseky potrubí před a za přístrojem.



Přístroje obou typů mohou vedle signálu hmotnostního průtoku poskytnout také signál teploty, což umožňuje ušetřit čas i náklady jinak nutné na instalaci samostatného převodníku teploty. Po naprogramování vztažné hustoty měřeného plynu mohou oba typy přístrojů poskytnout na výstupu také objem (objemový průtok) za standardních podmínek (tzv. korigovaný).

... nebo správně korigovat

Údaje z průřezových měřidel, odvozujících průtok plynu z rozdílu jeho statických tlaků před a za škrticím orgánem, i z vírových průtokoměrů je při měření průtoku plynů třeba korigovat (obr. 3).

Obr. 3. Řešení bez korekce: průřezová měřidla (vlevo) měří rozdíl tlaků na překážce, vírové průtokoměry měří přímo objem

Průřezová měřidla (používající např. převodníky rozdílu tlaků řady Endress+Hauser Cerabar S Evolution Series) měří rozdíl statických tlaků proudícího plynu před a za překážkou umístěnou v potrubí. Za předpokladu konstantního tlaku a teploty (a tudíž hustoty) měřeného plynu mohou na základě naměřeného rozdílu tlaků poskytnout na výstupu objemový průtok, hmotnostní průtok a korigovaný objemový průtok.



Vírové průtokoměry měří přímo objemový průtok.

Za předpokladu stálého provozního tlaku a teploty plynu mohou navíc (např. Proline Prowirl 72W) na výstupu poskytovat údaje hmotnostního průtoku a korigovaného objemového průtoku.

Jestliže se tlak či teplota plynu mění, nemusí být shora uvedené způsoby měření hmotnostního průtoku dostatečně přesné.

Uvažujme např. vírový průtokoměr bez dodatečné korekce naprogramovaný k měření korigovaného objemového průtoku. Měřeným plynem je stlačený vzduch o jmenovitém absolutním tlaku 0,7 MPa a

jmenovité teplotě 20 °C. Jestliže ve skutečnosti tlak kolísá od 0,65 do 0,75 MPa a teplota od -15 do +35 °C, je maximální výsledná nejistota až někde nad 20 %.

Zlepšení lze dosáhnout použitím vírového průtokoměru s integrovaným obvodem pro měření teploty, jako je průtokoměr Proline Prowirl 73. Protože měří teplotu protékajícího plynu, dokáže tento přístroj korigovat vliv jejich změn na údaj průtoku. Korigovaný objemový průtok se počítá přímo v přístroji, tj. bez nutnosti externího výpočtu v počítači průtoku nebo v PLC.

Použije-li se v našem příkladě přístroj Proline Prowirl 73, poklesne maximální nejistota na hodnotu asi 8 % (z oblasti nad 20 %). Při měření průtoku plynu v ceně např. 2,5 milionu korun za rok by dosaženému zmenšení nejistoty o 12 procentních bodů odpovídala roční částka 300 000 korun.



Popsaný způsob využití vírového principu k měření průtoku plynu perfektně vyhovuje v případech relativně stabilního tlaku, ale proměnné teploty. K měření stačí jediný přístroj bez dalších přídavných zařízení a kabeláže k nim.

Obr. 4. Měření plně korigovaného objemového průtoku přístroji Endress+Hauser: vlevo vírový průtokoměr Proline Prowirl 73 měřící objemový průtok a teplotu při externím číslicovém vkládání hodnoty tlaku po sběrnici; vpravo: zapojení s počítačem průtoku RMC621 korigujícím signál objemového průtoku z vírového průtokoměru nebo signál rozdílu tlaků z průřezového měřidla na vliv tlaku a teploty (jeden přístroj RMC621 obsluhuje až tři zapojení uvedeného typu)

Lepších výsledků, v pásmu nejistot mezi 2 a 3 % naměřeného hmotnostního průtoku lze dosáhnout tím, že se koriguje jak na změny teploty, tak i tlaku, a to při použití jednoho z těchto způsobů (obr. 4):

- vírový průtokoměr s vestavěným obvodem pro měření teploty (Proline Prowirl 73) s externím číslicovým vkládáním hodnoty tlaku v potrubí prostřednictvím protokolu HART nebo některé ze provozních sběrnic (Profibus-PA, Foundation Fieldbus),
- zapojení s počítačem průtoku (např. Endress+Hauser RMC621) s připojeným standardním vírovým průtokoměrem (např. Proline Prowirl 72) nebo průřezovým měřidlem se snímačem rozdílu tlaků a snímači provozního tlaku a teploty,
- korigováním rušivých vlivů v řídicím systému (DCS, PLC), a to opět při použití standardního vírového průtokoměru (např. Proline Prowirl 72) nebo průřezového měřidla a snímačů provozního tlaku a teploty (přitom je třeba mít jistotu, že je použita správná převodní rovnice měřidla – podle zkušeností z praxe často není, a to vede k chybám mezi 10 až 30 % a v našem příkladu k částce mezi 250 000 až 750 000 korun za rok).

V použitém příkladu úlohy s plynem v ceně 2,5 milionu korun za rok odpovídá dosaženému zmenšení nejistoty údaje průtoku (2 až 3 % v porovnání s 20 % při provedení bez korekce) částka asi 437 000 korun za rok. Instalace přesnějšího zařízení může tudíž přinést rychlejší návratnost vynaložených prostředků.

Který průtokoměr vybrat?

Skutečně dokonalý snímač průtoku plynu neexistuje. Vedle dosud diskutované nejistoty měření má každý z uvedených průtokoměrů sobě vlastní přednosti i nedostatky.

Obr. 5. Nový tepelný hmotnostní průtokoměr Proline t-mass 65 v ověřovacím provozu při měření průtoku stlačeného vzduchu ve výrobním závodě Endress+Hauser v Reinachu ve Švýcarsku

Tepelné hmotnostní průtokoměry

Průtokoměry tohoto typu umožňují přímo měřit hmotnostní průtok plynů při konkurenceschopné ceně (obr. 5).

Použitý princip nabízí dynamiku měřicího rozsahu (poměr maximálního průtoku, který lze přístrojem měřit, k minimálnímu ještě měřitelnému průtoku) až 100 : 1, což v porovnání s ostatními měřicími principy přináší značnou úsporu peněz.

Dosáhnout podobných výsledků s průřezovými měřidly lze pouze při použití tzv. instalace s rozdělením rozsahu (*split range installation*), tj. současně nejméně

dvou snímačů rozdílů tlaků s rozdílnými měřicími rozsahy. Pro svou schopnost měřit i velmi malé průtoky se tepelné hmotnostní průtokoměry často používají k detekci netěsností. Samotné mají jen minimální tlakovou ztrátu, menší než 2 hPa, což znamená velké potenciální úspory elektrické energie potřebné k pohonu čerpadel nebo kompresorů apod. Vyžadují ale předřazené dlouhé přímé ukliďňovací potrubí. Tento požadavek lze zmírnit na minimum pěti vnitřních průměrů potrubí zakoupením přístroje kalibrovaného současně s usměrňovačem proudu, který ovšem poněkud zvětší tlakovou ztrátu na měřidle. Použití usměrňovače se nedoporučuje při výrazném kolísání provozního tlaku (např. mezi 0,2 a 1 MPa), u vlhkých plynů, plyných směsí s proměnným složením a tam, kde jde o snímač určité úrovně SIL podle normy IEC 61508.



Coriolisovy hmotnostní průtokoměry

Coriolisovy průtokoměry jsou známé svými malými nejistotami při větších tlacích plynu (schopnost přesných zařízení přispět ke snížení nákladů je diskutována shora) a dobrou opakovatelností. Přístroje dodávané společností Endress+Hauser se instalují snadno, rychle a bez nadměrných nákladů, tj. bez podpěr potrubí a bez rovných ukliďňovacích potrubních úseků před a za průtokoměrem. Pro úlohy související s provozní bezpečností jsou k dispozici verze kategorie SIL 2. Současně jsou ovšem tyto průtokoměry méně vhodné pro měření vlhkých plynů a mají poměrně velkou tlakovou ztrátu.

Obr. 6. Vírový průtokoměr Prowirl 72 měřící průtok zemního plynu při těžbě

Průtokoměry s měřením rozdílu tlaků

Průřezová měřidla využívající měření rozdílu tlaků na překážce v potrubí mají dlouhou tradici – jako průtokoměrná měřidla byla standardizována v roce 1929. Při měření průtoku plynů jsou nyní běžná. Převodníky rozdílu tlaků a zasouvatelné deskové clony lze vyměňovat a recalibrovat beze změny tlaku v potrubí. Clony se vyrábějí ze široké škály materiálů pro mnoho nejrůznějších rozměrů potrubí a přípustných provozních tlaků. Pitotovy trubice mají v porovnání se clonami menší tlakovou ztrátu a jsou mnohem méně náchylné na opotřebení (opotřebení ostré hrany clony může snadno způsobit přídavnou nejistotu o velikosti od 1 až do více než 10 %).

Převodníky tlaku Endress+Hauser jsou zkonstruovány podle normy IEC 61511 s úrovní funkční bezpečnosti SIL 2. Poměr maximálního ku minimálnímu měřitelnému průtoku je u těchto přístrojů obvykle omezený na hodnoty mezi 3 : 1 až 6 : 1. Je-li třeba, lze uvedený poměr zvětšit i na více než dvojnásobek použitím již zmíněné funkce split range počítačů průtoku RMC621. Tento typ počítače průtoku navíc umožňuje zmenšit nejistotu měření, a to díky neustálému

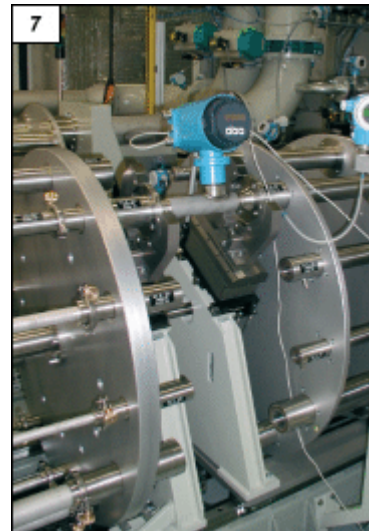


přepočítávání charakteristické rovnice clony jako funkce provozních podmínek. Měřidla využívající měření rozdílu tlaků mají nicméně široké možnosti využití při měření množství těkavých emisí, když u clon může být dlouhodobá stabilita měřidla ovlivněna jeho opotřebením. Stejně jako vírové a hmotnostní tepelné průtokoměry vyžadují i měřidla tohoto typu rovné úseky potrubí před a za přístrojem.

Obr. 7. Přírubová verze teplotního průtokoměru Proline t-mass v novém zařízení pro kalibraci měřidel průtoku plynu společnosti Endress+Hauser v Reinachu

Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry od společnosti Endress+Hauser jsou robustní přístroje dobře odolávající vibracím, extrémním změnám teploty a vodním rázům v parovodech. Díky použitému principu je lze použít i k měření průtoků plynu obsahujícího pevné částice a dokonce i plynů s obsahem vlhkosti (až do 5 % objemu). Spolu s osvědčenou spolehlivostí nabízejí vírové průtokoměry velmi dobrou opakovatelnost, malé tlakové ztráty a při použití plynů bez korozních a abrazivních účinků také jednu kalibraci pro celou dobu provozního života. V porovnání s přístroji s delší tradicí se vírové průtokoměry snáze specifikují, instalují i uvádějí do chodu – čímž šetří čas i peníze. Společnost Endress+Hauser je jediným výrobcem, který nabízí vírové průtokoměry v kategorii SIL 2. Při dimenzování vírového průtokoměru je třeba věnovat pozornost jeho schopnosti měřit v oblasti menších průtoků. Dále je třeba zajistit dostatečně dlouhé přímé úseky potrubí před přístrojem i za ním. Použije-li se usměrňovačů průtoku, může být přívodní potrubí kratší (obr. 6).



Způsobilost v oblasti kalibrace průtoku plynů

Zařízení pro kalibraci průtokoměrů vzduchem nedávno uvedené do provozu ve výrobním podniku společnosti Endress+Hauser v Reinachu ve Švýcarsku představuje jak koncepčně, tak i technickým provedením zcela nový standard v tomto oboru. Zkoušené přístroje lze rychle upínat do příslušné měřicí sekce (od DN15 do DN 100 – obr. 7) s použitím několika revolverových adaptérů. Měřit je možné průtoky až do 10 000 kg/h. Speciální klimatizační systém udržuje v kalibrační místnosti dnem i nocí stálou teplotu 21 °C. Nelze se tedy divit, že se na tomto komerčním kalibračním zařízení dosahuje při měření průtoku vzduchu jedné z nejmenších nejistot měření na světě vůbec.

Obr. 8. Zobrazení procesu dodávky energie v topném plynu s použitím programových nástrojů od společnosti Endress+Hauser

Zobrazte a sledujte svůj proces

Samotné měření průtoku plynů peníze za energii neušetří – je třeba také zobrazit, ohodnotit a analyzovat získaná data. Společnost Endress+Hauser nabízí pro tuto oblast kompletní sadu specializovaných programů, které se již po mnoho let osvědčují v praxi, např. Control Care, P-View, FieldCare a ToF-Tool-Fieldtool Package (obr. 8). Tyto nástroje lze použít k následujícím účelům:



- zobrazení všech měřicích míst a měřených veličin v celé instalaci,
- zpracování zpráv (využití za řízení a spotřeba energie za hodinu, den, měsíc, rok),
- určení úhrnné spotřeby energie daným nákladovým střediskem,
- porovnání efektivnosti (dodaná vs. spotřebovaná energie).

Endress+Hauser - meranie prietoku plynu – prietokomery - snímače plynu – hmotnostný plynomer - Promass

Teprve uvedeným způsobem získaný přehled je reálným klíčem k posuzování efektivity využívání energie i dalších nákladových položek zajišťujících chod procesu. Výhody takového přístupu snad není třeba dále rozvádět.

*Oliver Seifert,
Endress+Hauser Flowtec AG*