

VYSOKOTLAKÁ NÁVAZNOST MĚŘIDEL PRŮTOKU ZEMNÍHO PLYNU

Daniel Tenkrát^a, Ondřej Prokeš^{a,b}

^a Ústav plyných a pevných paliv a ochrany ovzduší
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
^b NET4GAS, s.r.o., Na Hřebenech II 1718/8, 140 21 Praha
e-mail: tenkratd@vscht.cz

Příspěvek se zaměřuje na aspekty metrologické návaznosti měřidel průtoku zemního plynu a diskutuje zejména problematiku nízkotlaké a vysokotlaké kalibrace plynoměrů. Dále si klade za cíl seznámit čtenáře v souvislostech s vývojem v oblasti harmonizace vysokotlakého kubického metru zemního plynu a se základními postupy používanými v Evropě k zajištění návaznosti na základní jednotky SI.

Klíčová slova: zemní plyn, kalibrace, měření průtoku, harmonizace

Došlo 7. 2. 2017, přijato 6. 3. 2017

1. Úvod

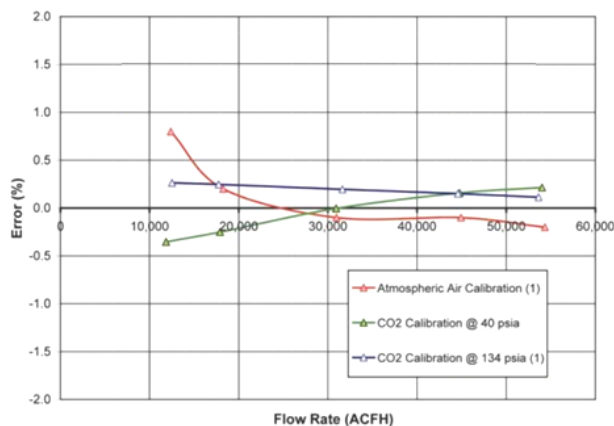
Správné měření průtoku (zemního) plynu je jedním ze základních předpokladů pro udržitelné provozování plynárenských soustav v celém řetězci od těžby přes přepravu, uskladnění a distribuci až ke konečným spotřebitelům. To je v posledních letech dále umocněno dopady liberalizace trhu trvalým rozdělením vertikálně integrovaných energetických skupin a osamostatněním přírodních monopolů, označovaného jako tzv. unbundling (směrnice 98/30/EC [1] zaměřená na účetní unbundling, 2003/55/EC [2] zaměřená na právní a manažerský unbundling a 2009/73/ES [3] unbundling provozovatelů přepravních soustav) a neustále se rozrůstající soustavou plynovodů v Evropě a s ním souvisejícím nárůstem počtu měřicích míst, kde dochází k předávání komodity mezi jednotlivými provozovateli a konečnými spotřebiteli.

Od vzniku evropských tranzitních koridorů v sedmdesátých letech dvacátého století bylo obchodní měření na vysokotlakých plynovodech po dlouhá desetiletí založeno zejména na použití clonových měřidel průtoku. Tato měřidla mají nespornou výhodu ve stanovení hmotnostního průtoku plynu pouze na základě geometrických rozměrů (návaznost na etalony délky) a přesného měření absolutního a diferenčního tlaku (etalony tlaku), teploty (etalony teploty) a také hustoty tekutiny. U ostatních měřidel používaných na konci přepravního řetězce (distribuční sítě, koneční odběratelé) byla (a stále v mnoha případech je) u turbinových a rotačních plynoměrů aplikována nízkotlaká kalibrace (tj. při tlaku blízkém atmosférickému) využívající vzduch jako kalibračního média.

Nízkotlaká kalibrace má svoji výhodu především v konstrukční jednoduchosti celého zařízení a nízkých nákladech na provedení kalibrace. Jako primární etalony jsou zde používány především pístové etalony (tzv. „piston prover“) a zvonové etalony průtoku (tzv. „bell prover“), na které jsou navázány etalony nižšího řádu použité při vlastní kalibraci.

Ovšem použití nízkotlacených kalibrovaných měřidel ve vysokotlakých aplikacích má svá úskalí. Při nízkých průtocích a nízkých tlacích, tj. při nízkých hodnotách Reynoldsova čísla, mají na chybu plynoměru velký vliv třecí

síly působící mimo měřenou tekutinu jako například tření v ložiscích rotoru. S rostoucím tlakem a rychlostí proudění (a tedy i rostoucím Reynoldsovým číslem) se začínají tyto vlivy minimalizovat a charakteristika plynoměru začíná být úměrná Reynoldsovu číslu a chybová křivka se stává téměř lineární a do jisté míry predikovatelnou závislostí. Toto chování je reprezentováno na obrázku 1, kde jsou uvedeny kalibrační křivky turbinového plynoměru získané při atmosférické kalibraci a kalibraci při tlaku 0,276 MPa (40 psia) a 0,924 MPa (134 psia) za použití CO₂, které je v některých laboratořích používáno např. z finančních či bezpečnostních důvodů.



Obr. 1 Příklad vlivu tlaku použitého při kalibraci na výkonovou křivku turbinového plynoměru (ACFH Actual Cubic Feet per Hour) [4]

Fig. 1 Example of pressure influence on turbine meter performance curve (ACFH Actual Cubic Feet per Hour) [4]

Tato skutečnost byla potvrzena řadou výzkumných projektů (např. [5, 6]) a je v současnosti reflektována aktuálními normativními dokumenty. OIML R137-1-2006 [7] doporučuje kalibraci při provozních nebo maximálně blízkých podmínkách, AGA 7 [8] a EN12260:2002 [9] pak doporučují do provozního tlaku 0,4 MPa atmosférickou kalibraci a při provozních tlacích nad 0,4 MPa pak

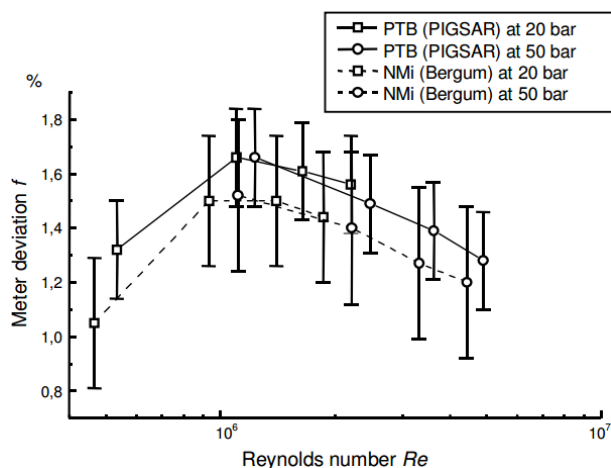
kalibraci za provozních podmínek za předpokladu, že $p/2 \leq p_{\text{test}} \leq 2p$.

Ačkoli z metrologického pohledu leží odchylky nízkotlacc a vysokotlacc provedené kalibrace (obr. 1) v akceptovatelných mezích, protože v případě např. plynoměru Class 1 dle OIML R137 činí nejistota samotného plynoměru 1 %, přesto mohou být takovéto odchylky těžko akceptovatelným rizikem pro provozovatele plynárenských soustav. Navíc s téměř skokovým nástupem využití ultrazvukových plynoměru v posledním desetiletí se výrazně zvyšují nároky na provádění vysokotlaké kalibrace a také na stabilitu národních etalonů.

2. Zkušebny, etalony a EuReGa

První vysokotlaké zkušebny v Evropě využívající jako kalibrační medium zemní plyn začaly vznikat už v 70. letech dvacátého století. V Nizozemí uvedl Nizozemský metrologický institut (NMI) do provozu dvě laboratoře Bergum, pracující na tlakových hladinách 0,8 - 5,5 MPa umístěné na předávacím místě z regionálního vysokotlakého plynovodu do plynové elektrárny a Westerborg pracující na tlakové hladině 6,2 MPa, která byla napojena přímo na tranzitní soustavu. Mezi dalšími vznikly zkušebny LNE v Poitiers a Gaz de France v Alfortville (Francie), Pigsar (PTB/Ruhrigas) a Lintorf (Německo) nebo například výzkumná zkušebna Gasunie (dnes DNV GL) v Grönningenu.

V druhé polovině 90. let dvacátého století se ovšem začaly objevovat první problémy způsobené odlišnou metrologickou návazností mezi německým a nizozemským standardem „vysokotlakého“ kubického metru zemního plynu. Ačkoli se jednalo o odchylky z metrologického pohledu nevýznamné, zapříčiněné především změnami na úrovni národních etalonů, vedly tyto k těžko akceptovatelným diferencím u fiskálních měřidel umístěných na hraničních předávacích stanicích mezi nizozemskými a německými tranzitními plynovody.



Obr. 2 Typický výsledek kalibrací plynoměru provedených ve zkušebnách Pigsar a NMI před rokem 1999 (před začátkem harmonizace) [10]

Fig. 2 Typical example of meter calibration results done at Pigsar and NMI before 1999 (prior to harmonisation) [10]

Jako důsledek těchto diferencí byla v roce 1999 podepsána dohoda mezi německým metrologickým institutem PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) a nizozemským NMI –VSL (Nationaal Metrologisch instituut – Van Swinden Laboratory) o harmonizaci referenčních hodnot pro objem vysokotlakého zemního plynu navázaný na základní jednotky a vznikl tak základ budoucímu sdružení EuReGa (European Reference for Gas metering). Ještě v téže roce byl dokončen první cyklus harmonizace referenčních hodnot (HRV harmonisation of reference values).

Typický výsledek kalibrace vysokotlakého plynoměru ve dvou laboratořích (PTB a NMI-VSL) před harmonizací, tj. před rokem 1999, je uveden na obrázku 2. Díky velmi dobré opakovatelnosti měření použitých fiskálních měřidel, která je významně lepší než jejich nejistota, je možné pozorovat odchylku mezi těmito laboratořemi. Je nezbytné připomenout, že odchylka jako taková není až tak významná, neboť leží v pásu překryvu nejistot (2σ) stanovení průtoku obou zkušeben, nicméně i tak zde existovalo riziko rozdělení trhu na tzv. „seller“ a „buyer market“.

V roce 2004 se k dohodě připojil i francouzský metrologický institut BNM (Bureau national de métrologie), který je v současnosti reprezentován LNE – L.A.D.G. a proběhlo druhé kolo harmonizace. Třetí kolo harmonizace proběhlo v roce 2008, v roce 2013 se ke konsorciu přidává FORCE Technology (Dánsko) a 23. 9. 2013 formálně vzniká konsorcium EuReGa. Následně v roce 2014 probíhá čtvrté kolo harmonizace referenční hodnoty.

Jednotliví členové konsorcia EuReGa vytvořili a spravují řetězce přímé metrologické návaznosti na základní jednotky SI na národní úrovni.

2.1. PIGSAR - PTB

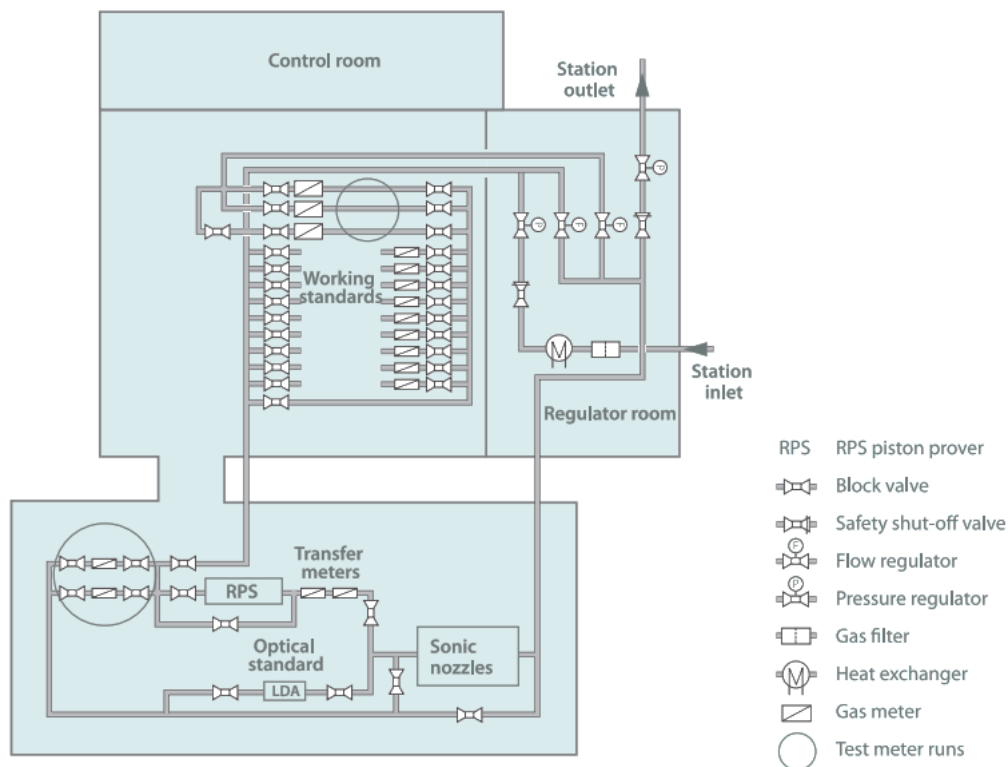
Vysokotlaká zkušebna Pigsar v Německém Dors-tenu byla postavena v roce 1993 společností Ruhrigas AG. V roce 2003 se stala společným pracovištěm PTB, který zde instaloval německý národní etalon vysokotlakého kubického metru pro zemní plyn a Vier Gas Services (pozdějším nástupcem Ruhrigasu). Z pohledu designu se jedná o otevřenou smyčku, zásobovanou vysokotlakým plynovodem na tlakové úrovni 0,55 MPa. Plyn použitý při kalibraci je přepouštěn do podřízené distribuční soustavy. Schéma zkušebny je uvedeno na obrázku 3.

Zkušebna pracuje v rozmezí pracovních tlaků 0,16-0,55 MPa a provozními průtoky od 3 do 6.500 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximální dimenze kalibrovaných měřidel je DN500. Rozšířená nejistota stanovení průtoku je (v závislosti na průtoku plynu):

$$U_{95\%} = 0,13 \text{ až } 0,16 \% \text{ pro } Q \geq 8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$U_{95\%} = 0,13 \text{ až } 0,16 \% \text{ pro } Q < 8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Primárním etalonem je pístový prover s rozměrovou nejistotou $U = 0,007 \%$ navázaný na základní SI jednotku délky metr. V dalším kroku je pomocí pístového etalonu kalibrován pracovní standard, turbinový plynoměr G250, při 3 odlišných tlakových hladinách.



Obr. 3 Zjednodušené technologické schéma zkušebny PIGSAR. Místnost s primárním standardem (RPS-pístový etalon) je propojena s kalibrační zkušebnou a pracovními standardy. [11]

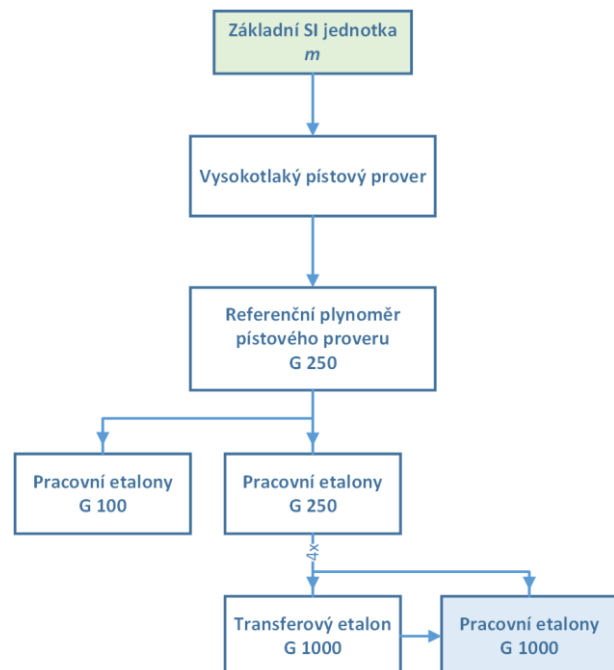
Fig. 3 Simplified scheme of the PIGSAR facility. The primary standard (RPS) is interconnected with the rest of calibration facility and working standards. [11]

Aby bylo možné dosáhnout vyšších průtoků, tzv. „transfer standard“, je turbinový plynoměr G1000 kalibrován za použití 4 pracovních standardů G250. Tento „transfer standard“ je potom použit pro kalibraci pracovních etalonů o velikosti G1000. Vysokých průtoků ve zkušebně se pak dosahuje paralelním zapojením těchto pracovních etalonů. Kalibrace je opět provedena při třech odlišných tlacích a pro účely verifikace je provedeno porovnání referenčních hodnot na základě Reynoldsových čísel.

Od roku 2003 pracuje PTB na vývoji nového primárního standardu založeného na nastavení konstantního průtoku za pomoci kritických Venturiho dýz a měření průtoku za pomoci laserové Dopplerovy velocimetrie (LDA) [12]. V současné době však zatím nemůže se svojí rozšířenou nejistotou $U = 0,22 \%$ konkurovat aktuálně používaným standardům.

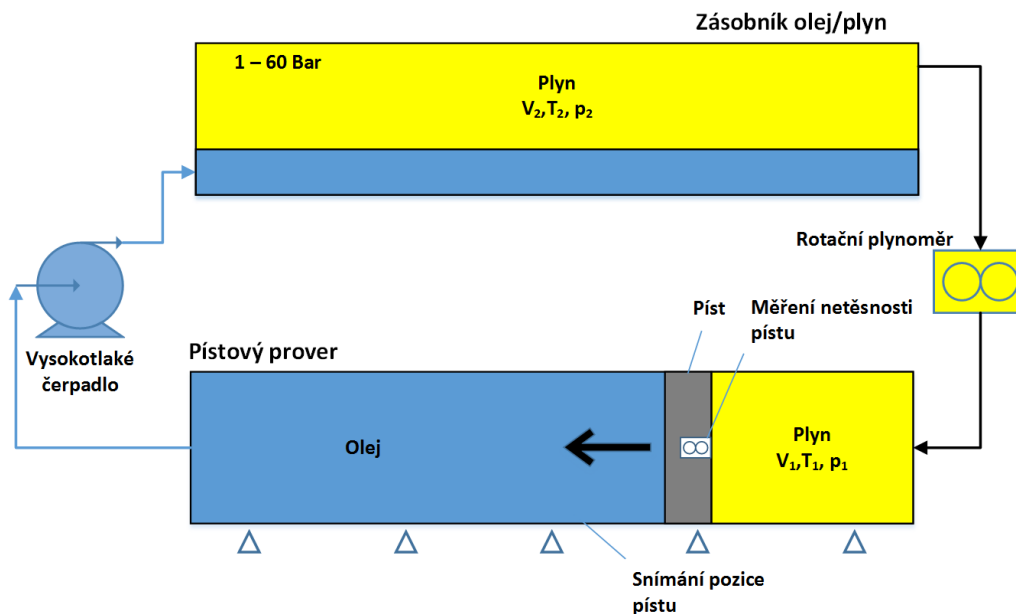
2.2. NMi - VSL

Návaznost vysokotlakého kubického metru zemního plynu je v Nizozemí realizována za použití pístového etalonu průtoku (GOPP – Gas Oil Piston Prover, viz obrázek 5). Píst 12 m dlouhého etalonu odděluje dvě média, olej a plyn.



Obr. 4 Metrologická návaznost pracovních měřidel na základní SI jednotku délky metr v Pigsaru

Fig. 4 Traceability chain of working standards at Pigsar



Obr. 5 Schéma principu GOPP (Gas Oil Piston Prover) [13]
Fig. 5 Schematic diagram of GOPP (Gas Oil Piston Prover) [13]

Odstředivé čerpadlo přepouští olej do zásobníku, čímž dochází k vytlačení plynu ze zásobníku přes kalibrované měřidlo (rotační plynoměr) do pístu, kde dochází k pomalému posuvu pístu, u kterého je přesně snímána poloha. GOPP může pracovat v rozsahu 0,1 až 6,5 MPa a 5-230 m³.h⁻¹a používat libovolné plyny jako kalibrační medium.

GOPP slouží ke kalibraci rotačních plynoměrů, kdy kombinací 5 plynoměrů v mobilním VSL-TraSys (VSL Traceability System) může být dosaženo průtoků až 4000 m³.h⁻¹ při paralelním zařazení dvou TraSys systémů pro kalibraci pracovních etalonů.

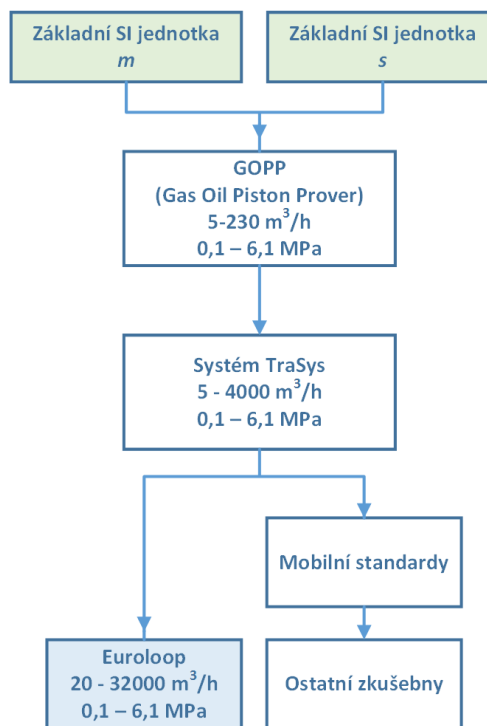
GOPP včetně systému TraSys je umístěn v nové kalibrační zkušebně Euroloop (viz obrázek 6), která nahradila po třiceti letech provozu stávající zkušebny Westerbork a Bergum.

Euroloop je zkušebna pracující s uzavřenou smyčkou v rozmezí tlaků 0,1 až 3,1 MPa a průtoků 20 až 30 000 m³.h⁻¹. Zkušebna umožňuje i volbu teplotních podmínek kalibrace v rozmezí 5 až 30 °C. Maximální velikost kalibrovaného měřidla (MUT- meter under test, viz obrázek 7) je 42“ (DN 1000). Jako provozních etalonů je použito 7 turbinových plynoměrů v rozsahu 650 až 6500 m³.h⁻¹, které jsou monitorované v sérii zapojenými ultrazvukovými plynoměry. Celková nejistota zkušebny dosahuje v závislosti na použitém průtoku až 0,17 %. Zjednodušené schéma zkušebny je uvedeno na obrázku 7.

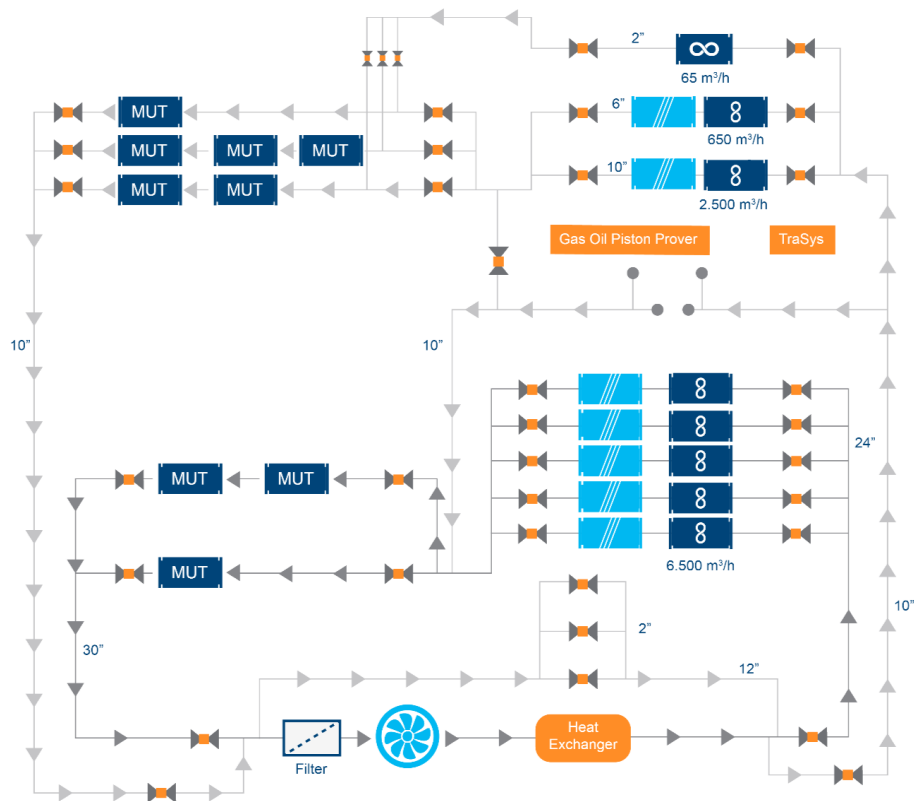
2.3. LNE LADG

Francouzský metrologický institut spravuje národní etalon průtoku ve společných laboratořích LNE LADG (Laboratoire Associé de Débitmétrie Gazeuse) Gaz de France v Alfortville a CESAME LNE v Poitiers. Kalib-

race plynoměrů v obou zkušebnách je prováděna za použití sady kritických Venturiho dýz navázaných na národní standard, tj. testovací stolici „PISCINE“ založené na *pVTt* (tlak-objem-teplota-čas) metodice stanovení součinitele průtoku (*C_d*) jednotlivých dýz a vyhodnocování hmotnostního průtoku.



Obr. 6 Metrologická návaznost pracovních měřidel na SI jednotky v Euroloopu [13]
Fig. 6 Traceability chain of working standards at Euroloop [13]



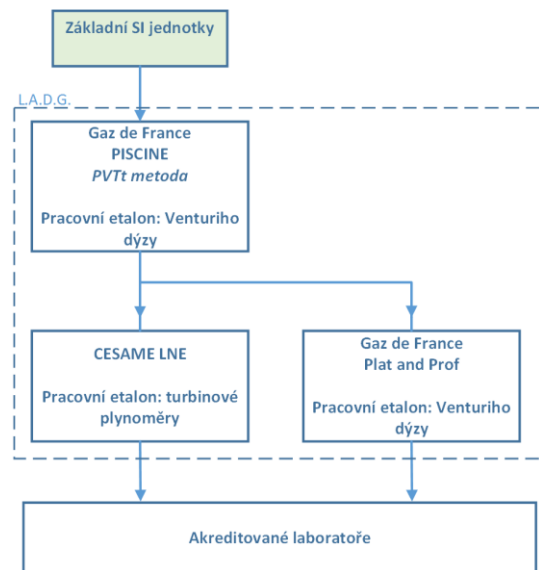
Obr. 7 Zjednodušené schéma kalibrační zkušebny NMi Euroloop [14]
Fig. 7 Simplified scheme of the NMi Euroloop facility [14]

C_d je stanovován na základě použití nádrže o známém objemu umístěné v sérii s měřenou dýzou a přesným měření tlaku, teploty a stanovení hustoty. Celý systém je uložen v temperované vodní lázni (bazénu) a teplota je udržována na $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ (viz obrázek 8).



Obr. 8 $pVTt$ standard pro kalibraci Venturiho dýz v LNE LADG [19]
Fig. 8 $pVTt$ standard for Venturi sonic nozzles calibration at LNE LADG [19]

Dýzy jsou kalibrovány zemním plynem v rozsahu průtoků 0,002 až $2,37 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ a tlacích 0,6 až 5,5 MPa. Rozšířená nejistota stanovení C_d je 0,16 %. Schéma celé řetězce metrologické návaznosti měření průtoku zemního plynu ve Francii je uvedeno na obrázku 9.



Obr. 9 Systém metrologické návaznosti vysokotlakého kubického metru ve Francii [18]
Fig. 9 Traceability chain of the French laboratories for gas flow measurement [18]

2.4. FORCE

Realizace referenční hodnoty vysokotlakého kubického metru zemního plynu je v Dánsku zajišťována prostřednictvím akreditované vysokotlaké laboratoře FORCE za použití dvou 4“ pístových etalonů průtoku zapojených v uzavřené smyčce (obrázek 10).



Obr. 10 Zdvojený 4“ pístový etalon průtoku plynu ve FORCE. Zdroj: FORCE Technology
Fig. 10 Piston prover at FORCE Technology. Photo credit: FORCE Technology

Oba písty jsou hydraulicky poháněné, přičemž obě pístní tyče jsou vzájemně spojeny. Těsnění pístu je prováděno malým přetlakem oleje mezi těsněními. Etalon je schopen kalibrovat pracovní etalony (turbínové a rotační plynoměry) až do průtoku $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Vyšší průtoky jsou realizovány paralelním zapojením více pracovních etalonů až do $10000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (obr. 11).

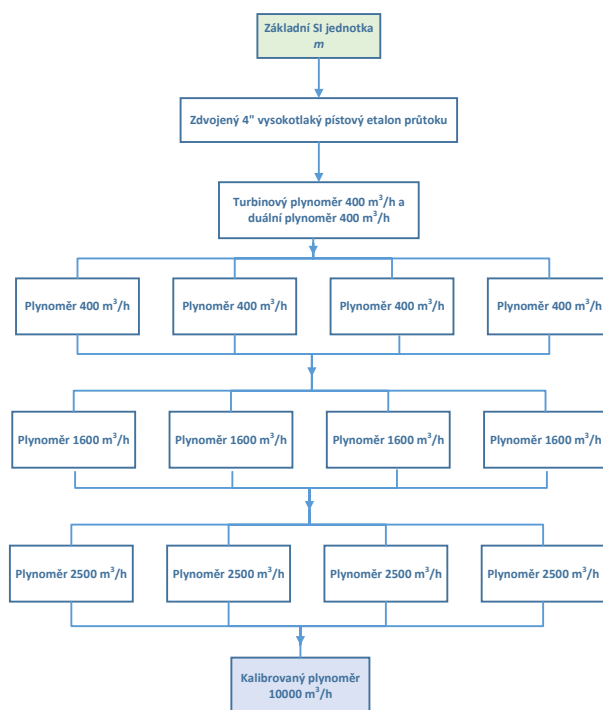
Kalibrace plynoměrů je prováděna ve dvou uzavřených smyčkách 12“ a 24“ za použití osmistupňového axiálního kompresoru. Rozmezí kalibračních tlaků se pohybuje 0,1 až 6,5 MPa při průtocích 10 až $32000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Rozšířená nejistota zkušebny se v závislosti na průtoku pohybuje od 0,14 do 0,22 %. Kalibrační zkušebna FORCE Technology je v současnosti největším zařízením svého typu.

2.5. Základy harmonizace

Protože metrologické aktivity PTB, NMi-VSL, LNE LADG a FORCE v rámci EuReGa ovlivňují jednak národní, tak i mezinárodní trh s plynem, musí proces harmonizace podléhat přísným pravidlům. Ty se řídí především doporučeními BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), která byla vytvořena zástupci poradní skupiny pro nejistoty při BIMP společně se zástupci národních metrologických institutů.

Harmonizační proces, ve své podstatě se jedná o vážený průměr referenčních hodnot nyní už čtyř národních etalonů, je založen na následujících pre-rekvizitách:

- každý ze členů provozuje nezávislý proces návaznosti na základní jednotky SI,
- celková nejistota každého ze systémů je známá, porozuměná a akceptovaná ostatními partnery,

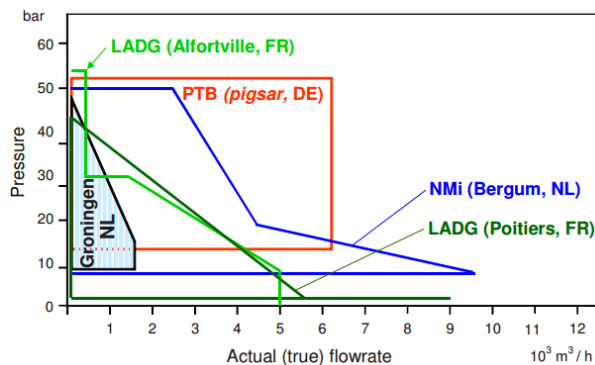


Obr. 11 Schéma návaznosti pracovních etalonů ve FORCE na základní jednotky [18]

Fig. 11 Traceability chain of working standards at FORCE Technology [18]

- stanovená povolená odchylka mezi dvěma systémy je menší než odmocnina součtu čtverců odpovídacích nejistot (2σ),
- u každého ze systémů je prokazována stabilita referenční hodnoty (prokazuje se dlouhodobá opakovatelnost referenční hodnoty),
- je stanoven stupeň ekvivalence na základě historických dat a akceptovaných nejistot.

Proces harmonizace je aplikován v celém rozsahu překryvu provozních tlaků a průtoků jednotlivých členů sdružení. Situaci před připojením FORCE Technology z roku 2005 ilustruje obrázek 12.



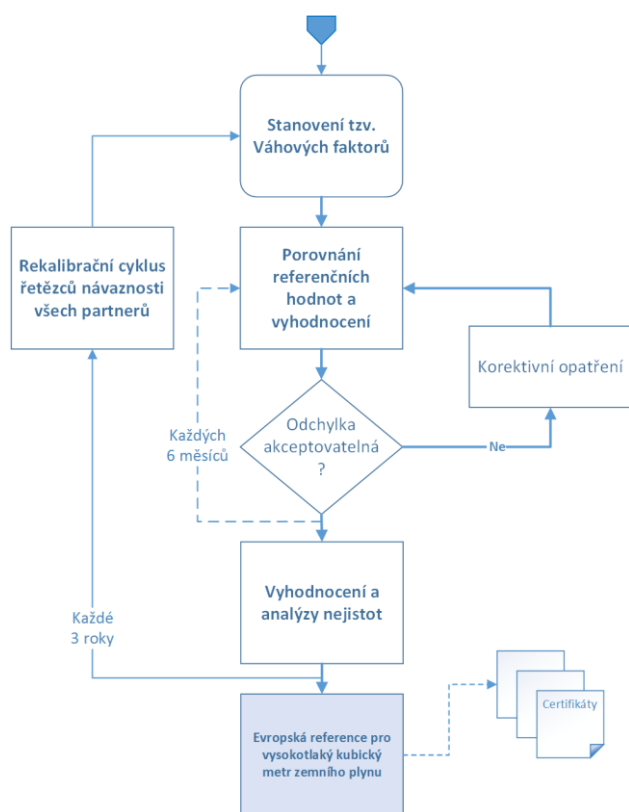
Obr. 12 Kalibrační a měřicí rozsahy vybraných zkušeben [10]

Fig. 12 Calibration and measuring capabilities of selected facilities [10]

Pro zajištění maximálního překryvu jsou pro mezilaboratorní porovnání používány 3 až 4 sady rozdílných turbinových plynoměrů DN100 až DN 400, přičemž v každé sadě jsou vždy dva plynoměry zapojené v sérii. Pro mezilaboratorní porovnání je používána rovněž i kritická dýza [10].

Účastníci harmonizačního procesu se zavázali kontinuálně přijímat opatření pro zlepšování celkové nejistoty jimi provozovaných nezávislých referenčních hodnot.

Jak bylo naznačeno, harmonizace je založena na váženém průměru referenčních hodnot jednotlivých laboratoří. Detailní postup stanovení váženého průměru je diskutován v [10] nebo [17]. Jednotlivé laboratoře následně aplikují korekční faktory, nebo lépe řečeno korekční funkce k jejich kalibracím, čímž je zajištěno, že sekundární laboratoře a etalony získají stejnou referenční hodnotu.



Obr. 13 Schématický diagram harmonizačního procesu v rámci EuReGa [18]

Fig. 13 Schematic diagram of the EuReGa harmonisation process [18]

Celý cyklus je schématicky zakreslen na obrázku 13. To znamená, že koncový uživatel získá stejnou kalibraci ve všech participujících laboratořích a je tímto vyloučena systematická chyba (bias) mezi jednotlivými laboratořemi.

3. Závěr

V ČR v současnosti není vybudována žádná vysokotlaká zkušebna, i když úvahy o její výstavbě se v minulosti již objevily a do budoucna by mohlo být toto téma opět aktuální. V případech, kdy lze uplatnit nízkotlakou kalibraci či ověření rotačních a turbinových plynoměrů, jsou v ČR k dispozici dvě nízkotlaké zkušebny, a to Spektrum Skuteč a ČMI v Pardubicích. Právě nízkotlaká kalibrace může být pro celou řadu aplikací dostatečnou a cenově výhodnou variantou, obzvláště tam, kde je přijatelná nejistota stanovení průtoku plynu do 1 % (třída 1 a 1.5 dle OIML R 137-1).

Pro vysokotlaké aplikace a zejména pro účely fiskálního měření jsou vysokotlaké zkušebny a kalibrace za podmínek blízkých podmínkám provozním (až na výjimky) nutností. V tomto případě je nezbytné využít některou ze zahraničních laboratoří. Kromě popisovaných harmonizovaných laboratoří existuje celá řada dalších, např. Flow centre (Delton, UK), Ural Metrological Center (Jekatěrinburg, RUS), Boyarski Metrological Center (Boyarka, UA), TransCanada Calibrations (Ile des Chenes, CA), RMA (Rheinau, DE) nebo CEESI (Garner, Iowa, USA) a další.

Proces harmonizace v oblasti referenční hodnoty vysokotlakého kubického metru zemního plynu udělal od konce devadesátých let dvacátého století obrovský pokrok, který vyústil v projekt EuReGa a vytvoření evropské referenční hodnoty pro vysokotlaký kubický metr zemního plynu pro etalony a pracovní měřidla navázaná ať již na PTB, LNE-LADG, NMi-VSL nebo FORCE.

Jak bylo zmíněno výše, difference mezi neharmonizovanými a harmonizovanými zkušebnami jsou z pohledu metrologie nevýznamné. Nicméně minimálně v přeshraniční přepravě plynu v rámci západní a střední Evropy je použití harmonizovaných laboratoří více než žádoucí.

Literatura

1. Directive 98/30/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 concerning common rules for the internal market in natural gas.
2. Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC.
3. Directive 2009/73/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 2003/55/EC.
4. Tang P. W.: Pressure, Temperature, and Other Effects on Turbine Meter Gas Flow Measurement; *American School of Gas Measurement Technology*, Houston, 2014.
5. George, D. L.: *GRI Topical Report GRI-03-0050, Metering Research Facility Program: Effects of Line Pressure and Gas Density on Turbine Meter Meas-*

urement Accuracy Between 30 and 700 psig in Natural Gas, Gas Research Institute, Des Plaines, Illinois, July 2003.

6. George, D. L.: *GRI Topical Report GRI-03- 0172, Metering Research Facility Program: Effects of Line Pressure and Gas Density on Turbine Meter Measurement Accuracy at Conditions from Atmospheric Air to 700 psig in Natural Gas*, Gas Research Institute, Des Plaines, Illinois, August 2004.
7. OIML R137-1 International Recommendation – Gas Meters Part 1: Requirements, International Organization of Legal Metrology, Edition 2006 (E).
8. A.G.A. Transmission Measurement Committee Report No. 7, Measurement of Natural Gas by Turbine Meters, American Gas Association, Washington, D.C., April 2006.
9. EN12261 Gas Meters – Turbine Gas Meters, European Committee for Standardization (CEN), 2002(E).
10. Dopheide, D., B. Mickan, R. Kramer, M. van der Beek, G.J. Blom, O. Gorieu and J.P. Vallet: The harmonized European gas cubic meter for natural gas as realized by PTB, NMi-VSL and LNE_LADG and its benefit for user and metrology, *Revue Française de Metrologie* 2 (2005), 35-42.
11. Open Grid Europe: https://www.open-grid-europe.com/cps/rde/xbcr/oge-inter-net/20151022_OGE_Broschuere_Gasmessung_A5_RZ_text.pdf, staženo 25.1.2017.
12. Mickan B., Strunck V.: A primary standard for the volume flow rate of natural gas under high pressure based on laser Doppler velocimetry, *Metrologia* 51 (2014), 459–475. doi:10.1088/0026-1394/51/5/459
13. van der Beek M.P., van den Brink R.: Gas Oil Piston Prover, primary reference values for Gas-Volume, *Flow Measurement and Instrumentation* 44 (2015), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.flow-measinst.2014.11.012>
14. NMi Euroloop: http://nmi-euroloop.nl/broschure_gas/, staženo 25.1.2017.
15. Mickan B. et al.: Comparison by PTB, NIST and LNE-LADG in air and natural gas with critical venturi nozzles agree within 0,05%, *Proceedings of 6th International Symposium for Fluid Flow Measurement*, Queretaro, Mexico, May 16-18, 2006.
16. FORCE technology: <https://forcetechnology.com/~media/force-technology-media/div-6-metrology-chemical-analysis-and-managemetn-systems/datasheets/a266/high-pressure-calibration-facility>, staženo 25.1. 2017.
17. Cox M.G.: The evaluation of key comparison data, *Metrologia*, 39 (2002), 589-595.
18. Van der Beek M.P.: The harmonization of Reference Values for High-Pressure Natural Gas Volume, *Final report EURAMET 800 project*, 2014.
19. LNE-LADG: <http://www.metrologie-francaise.fr/fr/references/masse.asp#debit>, staženo 28.1.2017.

Summary

Daniel Tenkrát, Ondřej Prokeš
University of Chemistry and Technology, Prague Technická 5, 166 28 Praha 6, tenkratd@vscht.cz

High pressure traceability chain of natural gas flow measurement

The article aims on aspects of traceability chains of the natural gas flow measurement and discusses mainly the topic of low pressure (air) and high-pressure calibration of flow meters. The basic influence of air-calibrated turbine meters on reading when applied to higher pressure (i.e. higher Reynolds numbers) is discussed in first part. Further, the evolution and status in the field of harmonization of the European Reference Value for High Pressure Natural Gas is discussed as well as how the traceability to basic SI units in all participating harmonized laboratories is performed. Although the deviation between non-harmonized high-pressure calibration laboratories at the end of nineties of 20th century were fully acceptable from the metrological point of view, they were hardly acceptable from the market point of view. The importance of high-pressure calibration of gas flow meters is also discussed with respect to the intended range of utilization and basic normative documents and recommendations are listed. However, the low-pressure calibration of gas flow meters for high-pressure application is still widely legally applicable in many cases. In the Czech Republic only two installation of air (low-pressure) calibration facilities are available to the market. In case of need of high-pressure calibration, one of the harmonized laboratories should be chosen in order to achieve the best results.