

VLIV TEPLoty A PRŮTOKU NA ÚDAJ MEMBRÁNOVÝCH PLYNOMĚRŮ BEZ TEPLotNÍ KOMPENZACE

Tomáš Hlinčík, Václav Koza

VŠCHT Praha, FTOP, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší, Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: Tomas.Hlincik@vscht.cz

Velká část spotřeby zemního plynu v ČR se měří membránovými plynoměry bez teplotní kompenzace. Pro vyúčtování spotřeby plynu se v současnosti uplatňuje odhad teploty v plynoměru založený na teplotě okolí (atmosférické teplotě). V této práci zkoumáme vliv dalších faktorů, teploty plynu na vstupu plynoměru a toku plynu plynoměrem, na teplotu plynu v plynoměru. Pro plynoměr velikosti G4 jsme změřili vstupní a výstupní teplotu plynu při 12 průtocích pokrývajících rozsah plynoměru a při teplotách okolí plynoměru od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ze změřených teplot jsme pro každé podmínky vyhodnotili bezrozměrnou teplotu a tu jsme vyjádřili jako lineární závislost na toku plynu plynoměrem. Získaná závislost umožňuje uplatnit při výpočtu teploty plynu v plynoměru i vliv toku plynu plynoměrem. Při srovnání stávající metodiky s novým postupem na datech roku 2010 se výsledky obou postupů se liší v průměru o $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nejvýše o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Klíčová slova: zemní plyn, TPG 901 01, bezrozměrná teplota

Došlo 17. 8. 2012, přijato 27. 11. 2012

1. Úvod

Spotřeba plynu je v naprosté většině z 2,86 milionu odběrných míst kategorií domácnost a maloodběr v ČR měřena pomocí membránových plynoměrů bez teplotní kompenzace. Údaj na počítadle membránového plynoměru bez teplotní kompenzace odpovídá objemu plynu, který plynoměrem prošel za tlaku a teploty v měřicích komůrkách s membránami. Pro fakturaci plynu spotřebovaného na odběrném místě je třeba údaj plynoměru přepočítat na objem za vztažných podmínek ($15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $101\,325\text{ Pa}$). Způsob přepočtu je v současné době dán technickým doporučením TPG 901 01 se změnami 1-3 [2, 3, 4], podle kterého se pro určení teploty plynu v plynoměru vychází z teploty okolí. Teplota okolí však teplotu plynu v plynoměru ovlivňuje různou měrou v závislosti na průtoku plynu plynoměrem. Cílem této práce je posoudit společný vliv teploty okolí a průtoku plynu plynoměrem na potřebnou korekci údaje membránového plynoměru.

2. Teoretická část

Přepočty dodávek zemního plynu na energetické jednotky se řídí technickým pravidlem TPG 901 01. Množství energie dodané za účtovací období se vypočítává jako

$$Q = V_p \cdot k \cdot H_0, \quad (1)$$

kde:

Q je množství dodané energie [kWh],

kde V_p je provozní objem plynu [m^3], tj. údaj přímo získaný z počítadla plynoměru jako rozdíl stavů na konci a na začátku účtovacího období, H_0 je průměrná hodnota spalného tepla plynu dodaného za účtovací období za vztažných podmínek $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $101\,325\text{ Pa}$ [kWh/m^3], k je objemový přepočtový koeficient [-], zahrnující přepočet provozního objemu

V_p platného za provozní teploty a provozního tlaku na účtovaný objem V_u platný pro stejné množství plynu za vztažné teploty a vztažného tlaku.

TPG 901 01 pro převod provozního objemu plynu V_p na objem účtovaný V_u u nekompensovaných plynoměrů předepisuje přepočet pomocí objemového přepočtového koeficientu k . Objemový přepočtový koeficient k je poměr mezi objemem plynu při vztažných podmínkách V_v a objemem provozním V_p . Pro jeho výpočet je možno použít obecného vzorce, kde je zohledněn stupeň kompresibility. Pro nulovou relativní vlhkost plynu je

$$k = \frac{V_v}{V_p} = \frac{T_v}{T_p} \cdot \frac{p_p + p_b}{p_v} \cdot \frac{z_v}{z_p}, \quad (2)$$

a objem při vztažných podmínkách, tj. účtovaný objem plynu, lze získat jako

$$V_v = V_p \cdot \frac{T_v}{T_p} \cdot \frac{p_p + p_b}{p_v} \cdot \frac{z_v}{z_p}, \quad (3)$$

kde

V_v je objem plynu za vztažných podmínek ($101\,325\text{ Pa}$; $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) [m^3],

V_p je provozní objem plynu [m^3],

T_v je vztažná teplota ($288,15\text{ K}$) [K],

T_p je provozní teplota plynu [K],

p_p je provozní tlak [Pa],

p_b je atmosférický tlak vzduchu v místě odběru plynu [Pa],

p_v je vztažný tlak ($101\,325\text{ Pa}$) [Pa],

z_v je kompresibilitní faktor při vztažných podmínkách [-],

z_p je kompresibilitní faktor při provozních podmínkách [-] [2, 3, 4].

Při účtování objemu spotřebovaného množství plynu se předpokládá, že plynoměr udává provozní

objem plynu V_p naměřený za provozní teploty t_p a absolutního tlaku p_{abs} (vypočteného z provozního tlaku p_p a atmosférického tlaku p_b).

Jak provozní teplota t_p , tak absolutní tlak p_{abs} v plynoměru jsou vyjádřením střední hodnoty teploty a tlaku v plynoměru, které se během účtovacího období mění. Určení jediné hodnoty pro provozní teplotu za celé účtovací období je tak pro plynoměr bez kompenzace vždy odhadem.

Na obrázku 1 je schematicky zobrazen plynoměr s jednotlivými teplotami, kde

t_i je teplota plynu na vstupu do plynoměru [°C]

t_e je výstupní teplota plynu z plynoměru [°C]

t_a je teplota okolí plynoměru [°C]

t_p je provozní teplota plynu [°C].

Provozní teplotu t_p nezbytnou pro vyhodnocení vztažného objemu plynu podle (2) považujeme za shodnou s výstupní teplotou plynu z plynoměru t_e .

Dále popsané experimenty umožňovaly změřit teploty plynu t_i na vstupu a t_e na výstupu plynoměru, teplotu okolí plynoměru t_a a provozní objem V_p .

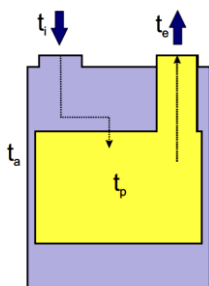
Provozní objem V_p [m³] je pro účely vyhodnocení nutno vztáhnout na dobu měření, tj. vyčíslit provozní průtok plynu \dot{V}_p jako změnu údaje na počítadle plynoměru za podmínek experimentu za jednotku času [m³.h⁻¹].

Měřené teploty lze vztáhnout na společný základ zavedením bezrozměrné teploty

$$\theta = \frac{t_i - t_e}{t_i - t_a}, \quad (4)$$

kde t_i je teplota na vstupu do plynoměru, t_e je teplota na výstupu z plynoměru, t_a je teplota okolí plynoměru.

Takto definovaná bezrozměrná teplota θ může nabývat hodnot mezi nulou a jedničkou. Je rovna jedné, když se plyn při průchodu plynoměrem ohřál (případně ochladil) na teplotu okolí, tj. když plyn při průchodu plynoměrem dosáhl tepelné rovnováhy s okolím plynoměru. Tato situace nastane, když je průtok plynu dostatečně malý a doba zdržení v plynoměru velká. V druhém extrémě bezrozměrná teplota nabývá nulové hodnoty, když plyn vystupuje z plynoměru se stejnou teplotou, se kterou vstoupil, tj. když $t_e = t_i$. Tato situace nastane, když plynoměrem protéká vysoký průtok plynu a plyn svou teplotu nestačí změnit.

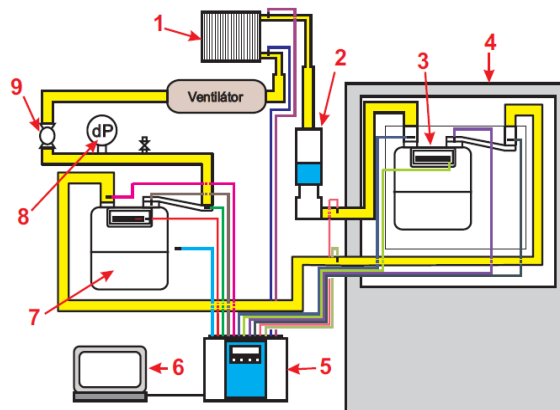


Obr. 1. Schematický obrázek plynoměru s jednotlivými veličinami

3. Experimentální část

3.1. Laboratorní aparatura

Aparaturu, schematicky znázorněnou na obr. 2, tvořily dva sériově propojené membránové plynoměry bez teplotní kompenzace typu Actaris Gallus 2000 a velikosti G4 (max. objemový průtok 6 m³/h) v uzavřeném okruhu s ventilátorem, výměníkem tepla a kolonou se silikagelem. Oba plynoměry a ostatní části aparatury byly spojeny systémem měděného potrubí s temovanými spojkami s gumovým těsněním. Celková délka vedení, které bylo částečně vystaveno teplotě v laboratoři a částečně teplotě v klimatizační komoře byla 501 cm. První plynoměr byl umístěn uvnitř klimatizační komory, ve které se nastavovaly teploty 0 °C, -5 °C a -10 °C. Tento plynoměr simuloval plynoměr umístěný ve sloupku vystavený atmosférické teplotě. Druhý byl umístěn v laboratoři. Cirkulaci plynu v okruhu s plynoměry zajišťoval ventilátor. Průtok plynu se nastavoval pomocí triakového regulátoru v napájení motoru ventilátoru. Za ventilátorem byl umístěn adsorbér se silikagelem. Účelem silikagelu bylo odstranit z plynu případnou vlhkost dřívě, než by mohla kondenzovat v plynoměru umístěném v klimatizační komoře. Z adsorbéru postupoval vysušený plyn do plynoměru v klimatizační komoře. Z plynoměru v klimatizační komoře postupoval cirkulující plyn do plynoměru v laboratoři. Za plynoměrem v laboratoři je ve směru toku plynu manometr a kulový uzávěr, jehož částečným uzavřením se v aparatuře (kromě bezprostředního sání ventilátoru) udržuje stále mírný přetlak.



Obr. 2. Schéma laboratorní aparatury [5]

Legenda: (1) chladič; (2) sušící kolona se silikagelem; (3) membránový plynoměr umístěný v klimatizační komoře; (4) klimatizační komora; (5) měřicí ústředna; (6) počítač; (7) membránový plynoměr umístěný v laboratoři; (8) manometr; (9) kulový uzávěr.

Dále byl v aparatuře zařazen chladič, který byl umístěn mezi výstupem z ventilátoru a adsorbérem se silikagelem. Chladič byl v aparatuře pro kompenzaci ohřevu plynu při průchodu ventilátorem.

Pro měření teplot plynu se používaly platinové odpory Pt100. Tyto odpory byly umístěny na vstupu a

výstupech obou plynoměrů, na výstupu a vstupu do klimatizační komory a chladiče. Dále byly umístěny v okolí obou plynoměrů pro měření teplot okolí v laboratoři a klimatizační komoře. Průtoky plynu u obou membránových plynoměrů byly zaznamenávány pomocí impulzních snímačů. Naměřená data byla zaznamenávána a shromažďována do ústředny MS3 (Comet). Z ústředny byla data přenášena do počítače a vyhodnocována. Měřicí aparatura s klimatizační komorou je zobrazena na obrázku 3. Plynoměr v laboratoři je pod plechovým krytem, ze kterého je vidět jen počítadlo plynoměru. Účelem krytu je odstínění plynoměru od rychlých fluktuací teploty i pohybu vzduchu způsobených provozem v laboratoři (otvírání dveří, oken, pohyb osob).

S ohledem na bezpečnost byl namísto zemního plynu v aparatuře použitý vzduch.



Obr. 3 Měřicí aparatura

3.2. Postup měření

Pro každou teplotu nastavovanou v klimatizační komoře (0°C, -5°C a -10°C) bylo zvoleno celkem dvanáct různých objemových průtoků vzduchu v rozmezí od 1 m³.h⁻¹ do 5 m³.h⁻¹. Průtoky byly nastavovány pomocí triakového regulátoru napájejícího ventilátor.

Teploty měřené pomocí snímačů Pt100 a průtoky měřené vysílačem impulzů byly zaznamenávány v měřicí ústředně MS3 a exportovány do počítače.

Samotnému měření pro danou nastavovanou teplotu a daný objemový průtok předcházela temperace aparatury. Při nastavené teplotě v klimatizační komoře byla provedena temperace bez průtoku plynu, která trvala přibližně tři hodiny. Příklad temperace je ukázán na obrázku 4. Po temperaci všechny teplotní snímače udávaly příslušnou teplotu okolí podle svého umístění, tj. buď v laboratoři nebo v klimatizační komoře.

Je patrné, že snímače v klimatizační komoře udávají o něco vyšší teplotu než je teplota nastavená termostatem komory. To je dáno výměnou tepla mezi klimatizační komorou a okolím. Po skončení temperace byla nastavena požadovaná hodnota průtoku vzduchu plynoměry na dobu do nového ustálení teplot. Jedno měření trvalo přibližně 2,5 hodiny. Během měření se teploty ustálily na nových hodnotách odpovídajících nastavenému průtoku vzduchu. Tyto ustálené hodnoty teplot spolu s počtem vyslaných impulzů za čas z obou plynoměrů představují přímé výsledky pokusů k dalšímu vyhodnocení.

Příklad průběhu teplot do ustáleného stavu je zobrazen na obrázku 5. Na obr. 5 je vidět, že teplota okolí v klimatizační komoře dále stoupla proti nastavení termostatu na -10 °C i proti hodnotě po temperaci (obr. 4). To je dáno tím, že chladič klimatizační komory musel při měření odvést další teplo z plynu proudícího plynoměry.

4. Výsledky a diskuse

Pro snadnější interpretaci naměřených hodnot a chování plynoměrů jsme výsledky všech experimentů převedli na bezrozměrné teploty podle rovnice (4).

Každý experiment tak poskytl dvě dvojice naměřených hodnot - průtok plynu a bezrozměrnou teplotu pro plynoměr v laboratoři a pro plynoměr v klimatizační komoře.

Výsledné hodnoty jsou na obrázku 6 spolu s jejich lineární závislostí zjištěnou regresí. Z grafu je patrné, že bezrozměrná teploty klesá se vzrůstajícím tokem a tomu odpovídají i konstanty regresní rovnice.

Výslednou rovnici lineární regrese pro závislost bezrozměrné teploty na průtok

$$\theta = -0,0576\dot{V} + 0,6416 \quad (5)$$

můžeme spojit s definicí bezrozměrné teploty (4) a vyjádřit teplotu plynu na výstupu z plynoměru,

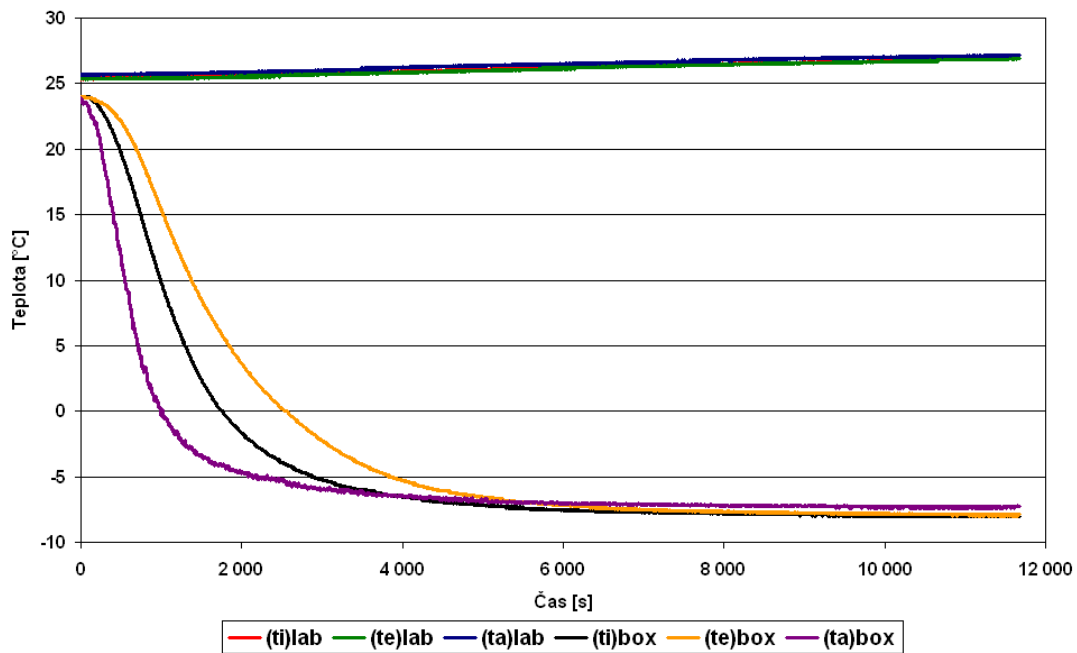
$$t_e = t_i + \left[(-0,0576\dot{V} + 0,6416)(t_i - t_a) \right], \quad (6)$$

kde t_i je vstupní teplota plynu do plynoměru [°C], \dot{V} je průtok plynu [m³.h⁻¹], t_a je teplota okolního vzduchu plynu [°C].

Teplotu t_e považujeme za shodnou s hledanou provozní teplotou t_p pro vyhodnocení údaje plynoměru v energetických jednotkách podle TPG 901 01,

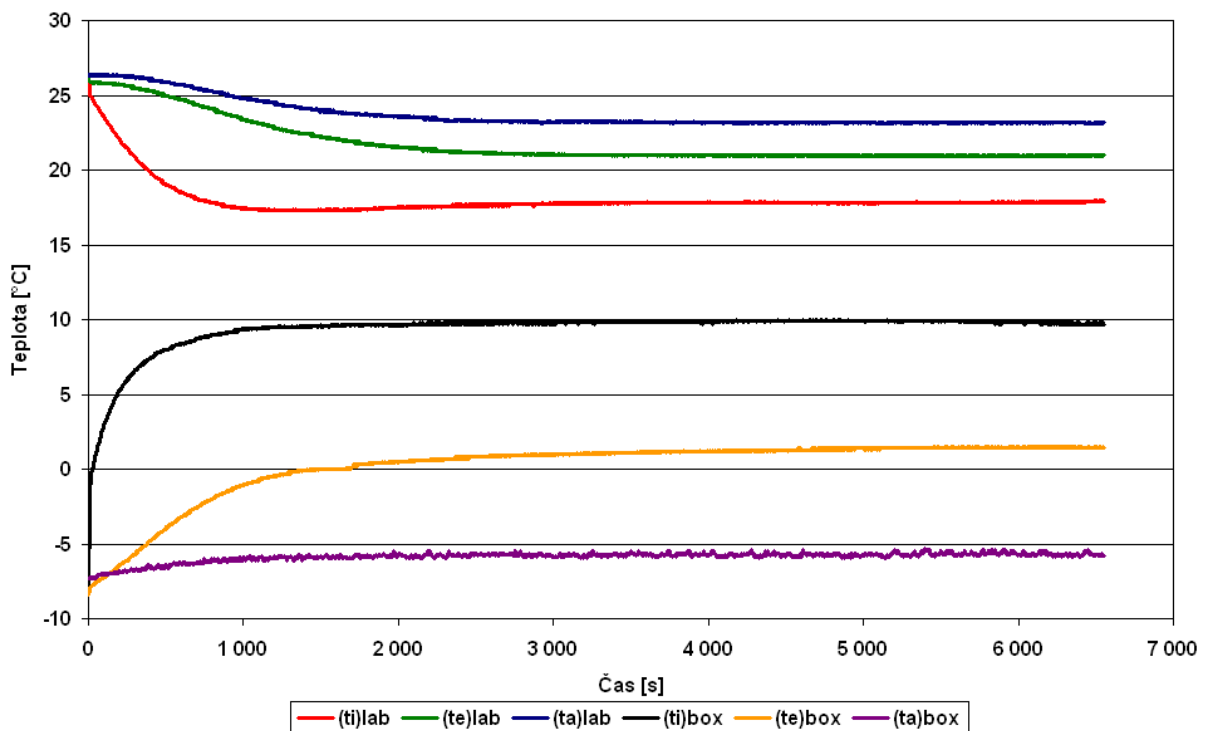
$$t_e = t_p. \quad (7)$$

Na reálných datech za rok 2010 jsme srovnali provozní teplotu $t_{p,2010}$ získanou navrženým postupem s provozní teplotou $t_{p,2010,TPG}$ vypočtenou ze stejných vstupních dat postupem podle TPG 901 01. Pro tento výpočet jsou uveřejněny [1] závazné měsíční průměry atmosférické teploty, měsíční váhové koeficienty pro výpočet ročních hodnot jako váženého průměru a koeficienty polynomu pro přepočet měsíčních atmosférických teplot na měsíční provozní teploty.

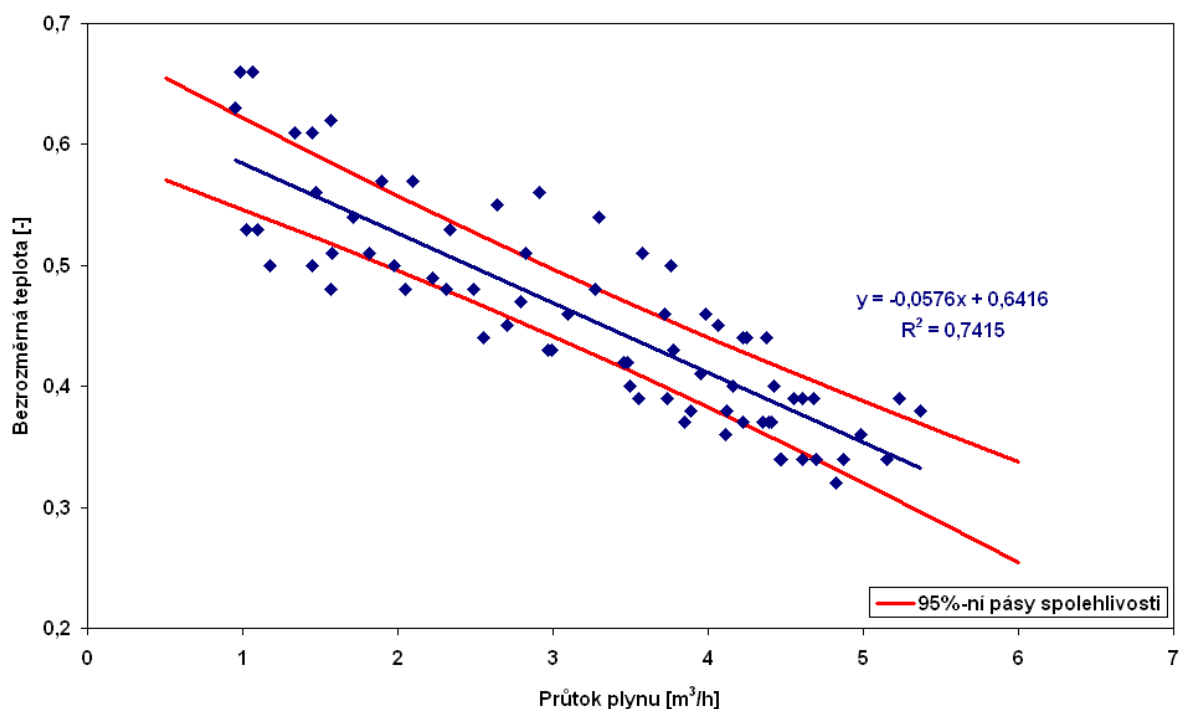


Obr. 4. Příklad průběhu teploty při teplotě v klimatizační komoře -10°C

Legenda: (ta)lab – teplota okolí v laboratoři; (ti)lab – teplota plynu na vstupu do plynoměru umístěného v laboratoři; (te)lab – teplota plynu na výstupu z plynoměru umístěného v laboratoři; (ta)box – teplota okolí v klimatizační komoře; (ti)box – teplota plynu na vstupu do plynoměru umístěného v klimatizační komoře; (te)box – teplota plynu na výstupu z plynoměru umístěného v klimatizační komoře.



Obr. 5. Průběh měření teplot při teplotě v klimatizační komoře -10°C a objemovému průtoku $3\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$



Obr. 6. Závislost bezrozměrné teploty na objemovém průtoku plynu

Pro náš postup jsme data doplnili o měsíční průměry teplot půdy v hloubkách 50 a 100 cm [6].

Tab. 1 Data pro srovnání postupů výpočtu t_p

| Měsíc | Váha [%] | t_b [°C] | $t_{50\text{ cm}}$ [°C] | $t_{100\text{ cm}}$ [°C] |
|---------------|----------|------------|-------------------------|--------------------------|
| Leden | 16,72 | -4,7 | 2,3 | 4,0 |
| Únor | 14,29 | -1,4 | 3,8 | 4,6 |
| Březen | 11,02 | 3,1 | 4,9 | 5,2 |
| Duben | 7,94 | 8,5 | 7,6 | 7,0 |
| Květen | 3,84 | 11,9 | 12,9 | 11,0 |
| Červen | 1,83 | 17,0 | 17,1 | 14,6 |
| Červenec | 1,62 | 20,4 | 18,1 | 16,4 |
| Srpen | 1,62 | 17,5 | 18,4 | 17,0 |
| Září | 5,86 | 11,7 | 15,7 | 15,8 |
| Říjen | 6,83 | 6,4 | 10,6 | 11,8 |
| Listopad | 10,50 | 5,4 | 7,0 | 8,5 |
| Prosinec | 17,93 | -4,6 | 3,9 | 6,0 |
| Vážený průměr | | 2,3 | 6,6 | 7,4 |

Pro výpočet navrhovaným postupem jsme použili hodnoty:

Vstupní teplota plynu do plynoměru $t_i = 7$ °C jako roční vážený průměr teploty plynu v plynovodu v hloubce 0,75 m (průměr z hloubek 0,5 a 1 m; změnu teploty v cestě z potrubí k plynoměru jsme zanedbali), teplota okolí plynoměru $t_a = 2,3$ °C jako roční vážený průměr atmosférické teploty t_b ,

tok plynu plynoměrem podle jeho rozsahu, tj. pro plynoměr G4 do $6\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Postupem podle TPG 901 01 jsme z uvedených dat stanovili roční provozní teplotu $t_{p,2010,TPG} = 4,5$ °C.

Postup navržený v této práci poskytl v závislosti na toku plynu hodnoty provozní teploty $t_{p,2010}$ v rozpětí od 4,1 do 5,5 °C.

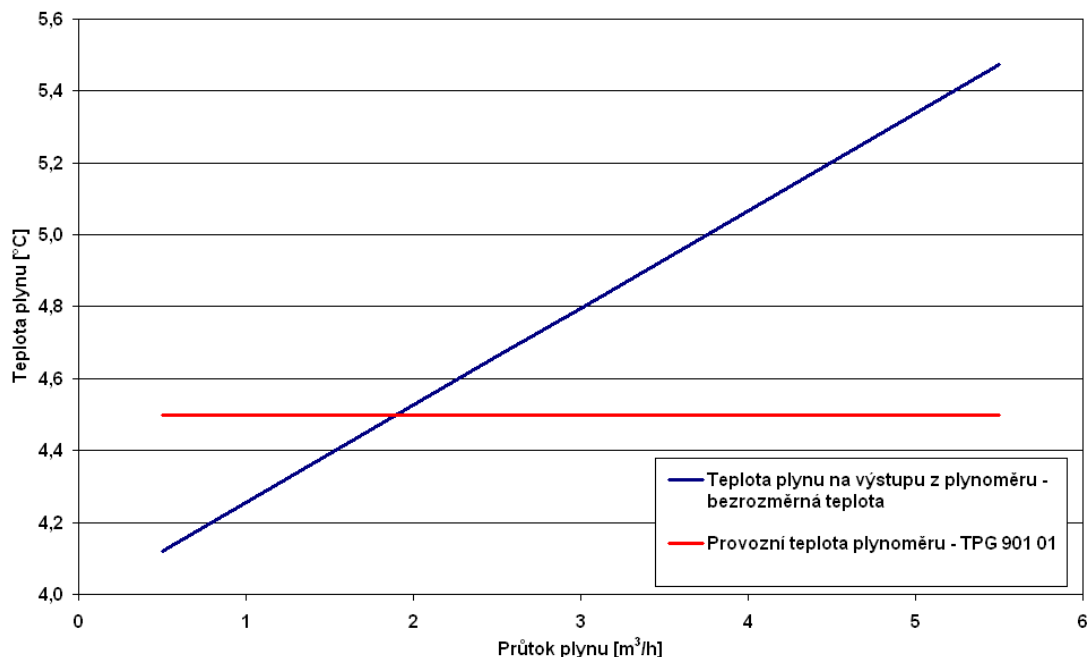
Výsledky obou postupů jsou srovnány na obr. 7, ze kterého je patrné, že zahrnutí vlivu toku plynu plynoměrem změnilo provozní teplotu t_p nejvýše o 1 °C, přičemž se výsledky nové metody neliší systematicky od stávající (původní jediná hodnota podle TPG leží v rozpětí vypočteném novou metodou).

5. Závěr

Měření teplot plynu na vstupu a výstupu plynoměru v závislosti na teplotě okolí a na toku plynu plynoměrem ukázalo závislost výstupní teploty plynu na toku plynu, kterou nebere v úvahu současná metodika pro vyhodnocování spotřeby plynu [2].

Z výsledků vyplývá, že plynoměr se chová jako tepelný výměník mezi plynem, který v něm proudí a okolím, přičemž změna teploty plynu v plynoměru je závislá na teplotě okolí. Při nízkých průtocích se teplota plynu přibližuje teplotě okolí. Naopak při vysokých průtocích se teplota plyn nestačí příliš změnit a zůstává blíže k teplotě přicházejícího do plynoměru.

Po tomto experimentálním zjištění na plynoměru jedné velikosti je žádoucí zjistit obdobné chování pro další velikosti plynoměrů a případně vyjádřit je kvantitativně v závislosti na velikosti plynoměru.



Obr. 7. Porovnání výstupní teploty z plynoměru (bezrozměrná teplota) a provozní teplotou plynoměru (TPG 901 01)

Poděkování

Financováno z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT (Rozhodnutí č. 21/2011).

Literatura

1. ERU. http://www.eru.cz/dias-read_article.php?articleId=896 (accessed Jan 26, 2012).
2. TPG 901 01. Přepočty dodávek plynu na energetické jednotky se změnou 1. Praha: Gas s.r.o., 2004.
3. TPG 901 01. Přepočty dodávek plynu na energetické jednotky, změna 2. Praha: Gas s.r.o., 2006.
4. TPG 901 01. Přepočty dodávek plynu na energetické jednotky, změna 3. Praha: Gas s.r.o., 2008.
5. Hlinčík, T. Vliv venkovní teploty na údaj membránových plynoměrů. Diplomová práce, VŠCHT Praha, 2009.
6. Hodnoty průměrných teplot půdy ve zvolených měřicích místech. ČHMÚ Praha, 2002.

Summary

Tomáš Hlinčík, Václav Koza
 Institute of Chemical Technology,
 Department of Gas, Coke, and Air Protection

The influence of temperature and flowrate on the reading of the gas meters without temperature compensation

In the Czech Republic large proportion of the gas consumption is metered by gas meters without the temperature compensation. Standard billing procedure estimate of metered gas temperature is based solely on the atmospheric temperature. This article evaluates the additional effects of gas temperature at meter inlet and of the gas flowrate. The experiments were run with the G4 size gas meter at the ambient temperatures in range of -10 to +25 °C and flowrates covering the operating range of gas meter. The measured temperatures were expressed as dimensionless temperature and its relationship with the gas flowrate was found by regression as straight line. The evaluation of the gas temperature taking in account the flowrate is suggested. The comparison of the new method with the current standard billing procedure has shown temperature difference ranging from -0,4 to +1,1 °C.