

ACCURACY LIMITS OF HIGH PRESSURE NATURAL GAS DENSITY MEASUREMENT

EXACTITĂȚI DE MĂSURARE A DENSITĂȚII GAZULUI NATURAL LA PRESIUNE ÎNALTĂ

Tomáš HAJDUK, František STANĚK, Jiří TESAŘ,
Zdeněk KRAJÍČEK, Dominik PRAŽÁK

CZECH METROLOGY INSTITUTE
INSTITUTUL DE METROLOGIE DIN CEHIA

Abstract: This paper summarizes the methods of measurement of natural gas density that are used in natural gas flow measuring systems during its transport and distribution, namely the direct measurement of natural gas density by gas density transducers and methods of determining natural gas density using pTZ methods.

Keywords: density, pTZ method, vibrating densimeter.

Rezumat: Această lucrare descrie metodele de măsurare ale densității gazului natural, utilizate în sistemele de măsurare a cantităților de gaze naturale, în momentul transportului și distribuției, respectiv măsurarea directă a densității gazului cu ajutorul traductoarelor de densitate și a metodei de determinare a densității gazului utilizând metoda pTZ.

Cuvinte cheie: densitate, metodă pTZ, densimetru electronic pe principiul frecvenței de oscilații.

1. INTRODUCTION

Density is one of the basic gas parameters. The problem is that the density of gas depends on the actual pressure and temperature. This dependence is very complicated. Therefore, quantities such as relative density and relative molar mass are implemented, where dependence is either minimized or ruled out. These quantities can also be measured directly and used for the calculation of gas density or the other parameters (e.g. Wobbe index).

The relative gas density G_R is defined as a ratio of the density of the gas (or gas mixture) in question ρ_G to the density of dry air ρ_A . Both densities are determined under the same temperature T and pressure p conditions:

$$G_R = \left(\frac{\rho_G}{\rho_A} \right)_{p,T}. \quad (1)$$

This quantity is practically independent of pressure and temperature. When conducting very accurate measurements however this dependence is no longer insignificant, and that is why a quantity of state independent of these quantities (temperature, pressure) was implemented. This quantity is called the relative molar mass G_1 and is defined as the ratio of the molecular mass of the gas (or gas mixture) M_G

1. INTRODUCERE

Densitatea este unul din parametri de bază ai gazului. Această densitate depinde de presiunea și temperatura reală, iar această dependență este foarte complicată. De aceea, sunt luate în calcul densitatea relativă, masa molară relativă, acolo unde dependența se dorește a fi ori minimizată, ori eliminată. Aceste mărimi pot fi, deasemenea, măsurate direct, iar valorile lor pot fi utilizate în calculul densității gazului sau a altor parametri (de ex; indicele Wobbe).

Densitatea relativă a gazului G_R este definită ca un raport între densitatea gazului (sau amestecului de gaze) ρ_G și densitatea aerului uscat ρ_A . Ambele densități sunt determinate în aceleași condiții de temperatură T și presiune p :

$$G_R = \left(\frac{\rho_G}{\rho_A} \right)_{p,T}. \quad (1)$$

Practic, această mărime este independentă de presiune și temperatură. Când efectuăm măsurări exacte, această dependență este departe de a fi nesemnificativă, de aceea s-a introdus o mărime independentă de aceste mărimi (temperatură și presiune). Această mărime se numește masă molară relativă G_1 și este definită ca un raport între masa moleculară a gazului (sau amestecului de gaze) M_G și masa moleculară a aerului uscat

to the molecular mass of dry air M_A :

$$G_I = \frac{M_G}{M_A}. \quad (2)$$

The following relation applies between relative gas density and gas relative molar mass:

$$G_I = G_R \left(\frac{Z_G}{Z_A} \right)_{p,T}. \quad (3)$$

where Z_G is the compressibility factor of the gas (or gas mixture) in question and Z_A is the compressibility factor of dry air.

Different kinds of measurement methods can be used for determining gas density, for example:

- pycnometric method,
- gas balances,
- efusiometer,
- mechanic gravimeter,
- vibrating densimeter,
- vibrating gravimeter,
- vibrating tube.

When measuring the flowrate of natural gas by pressure difference elements (orifices, nozzles and Venturi tubes), natural gas density is one of the most important parameters. In practice, the density of flowing natural gas is determined by means of two basic methods. One is applied for measuring the density using vibrating densimeters and the second is for determining the natural gas density using the pTZ method.

In the case that the pTZ method is used for determining the natural gas density, it is necessary to know not only the temperature and pressure, but also its compression factor. There are several calculation methods that can be used to determine this. Among the most widely used methods are AGA NX-19-mod [1], AGA8-92DC [2] and SGERG-88 [3]. In order to be able to use these methods, it is necessary to know not only the temperature and pressure of the relevant natural gas, but also its chemical composition, relative density and the superior calorific value.

In order to use the AGA NX-19-mod method, it is necessary to know the temperature and pressure of the natural gas, the carbon dioxide (CO_2) and the nitrogen (N_2) mole fractions and its relative density.

In order to use the AGA8-92DC method, it is necessary to know the temperature and pressure of the natural gas and its exact chemical composition.

In order to use the SGERG-88 method, it is

M_A :

$$G_I = \frac{M_G}{M_A}. \quad (2)$$

Astfel, între densitatea relativă a gazului și masa molară relativă a gazului există relația:

$$G_I = G_R \left(\frac{Z_G}{Z_A} \right)_{p,T}. \quad (3)$$

unde Z_G este factorul de compresibilitate al gazului (sau amestecului de gaze), iar Z_A este factorul de compresibilitate al aerului uscat.

Pot fi utilizate diverse metode de măsurare pentru determinarea densității gazului, de exemplu:

- metoda picnometrică,
- balanțe de gaz,
- efusiometru,
- gravimetru mecanic,
- densimetru electronic pe principiul frecvenței de oscilații (densimetru electronic)
- gravimetru de vibrație,
- tub de vibrație.

Când se măsoară debitul de gaz natural cu ajutorul elementelor de presiune diferențială (orificii, ajutaje, tuburi Venturi), densitatea gazului natural este unul dintre cei mai importanți parametri. În practică, densitatea gazului natural este determinată prin intermediul a două metode de bază. Una se aplică la măsurarea densității cu ajutorul densimetrelor electronice iar cea de-a doua, la determinarea densității gazului natural utilizând metoda pTZ.

În cazul în care se utilizează metoda pTZ pentru determinarea densității gazului natural este necesar a se cunoaște nu numai temperatura și presiunea, dar și factorul său de compresie. În acest scop există câteva metode de calcul a acestuia. Printre cele mai utilizate metode sunt AGA NX-19-mod [1], AGA8-92DC [2] și SGERG-88 [3]. Pentru a putea utiliza aceste metode este necesar a se cunoaște, în afară de presiunea și temperatura gazului și compoziția chimică, densitatea relativă și valoarea calorifică superioară a gazului.

Pentru utilizarea metodei AGA NX-19-mod, trebuie să se cunoască temperatura și presiunea gazului natural, fracțiile molare ale dioxidului de carbon (CO_2) și azotului (N_2) precum și densitățile lor relative.

Pentru utilizarea metodei AGA8-92DC, este necesar a se cunoaște temperatura și presiunea gazului natural și compoziția sa chimică.

Pentru utilizarea metodei SGERG-88, este

necessary to know the temperature and pressure of the natural gas, the carbon dioxide (CO₂), the nitrogen (N₂) or the hydrogen (H₂) mole fractions. The other parameters that need to be known are relative density and the superior calorific value H_S .

The choice of method for determining the compression factor is given by the range of the applicability of the methods and also by the available information about the given natural gas.

In the gas industry, the instruments that are most often used for direct measurement of the density of natural gas are vibrating densimeters. They use the dependence of changes in the resonant frequency of a vibrating cylinder on circumfluent gas density. The gas density sensor consists of a thin metal cylinder which vibrates on its eigenfrequency. The gas passes along its inside and outside surface and is in contact with the vibrating surface of the cylinder. The mass of the gas which vibrates with the cylinder is dependent on gas density. If the mass of the gas increases, the eigenfrequency decreases. The gas density can be derived from the frequency of the vibrations. Figure 1 shows the typical vibration densimeter [4].

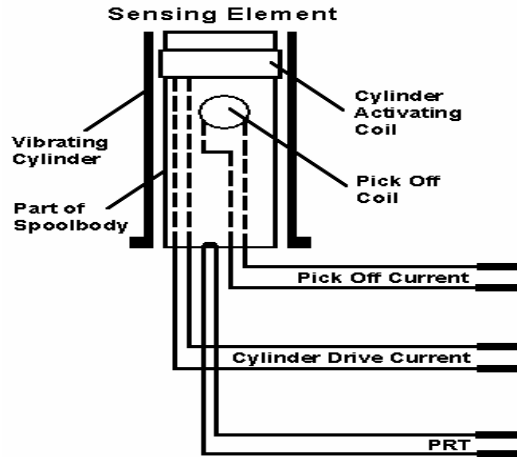


Fig. 1: Diagram of vibration densimeter

Fig. 1: Schema densimetrului electronic

The dependence of the gas density on the transducer time period τ is parabolic:

$$\rho = C_0 + C_1\tau + C_2\tau^2. \quad (4)$$

where C_0 , C_1 and C_2 are calibration constants of the relevant instrument.

The possible range of these densimeters is for example (1–400) kg·m⁻³. The accuracy of the vibrating densimeters used for the measurement of the density of natural gas is approximately 0.15 % of the measured value.

necesar a se ști temperatura și presiunea gazului natural și fracțiile molare ale dioxidului de carbon (CO₂), azotului (N₂) și hidrogenului (H₂). Deasemenea trebuie cunoscute densitatea relativă a gazului și valoarea calorifică superioară H_S .

Alegerea metodei pentru determinarea factorului de compresie este funcție de domeniul de aplicabilitate al metodelor utilizate și de informațiile deținute despre gazul natural.

În industria gazului, aparatele utilizate cel mai des în măsurarea directă a densității gazului natural sunt densimetrele electronice. Ele utilizează dependența schimbării frecvenței de rezonanță a cilindrului vibrator cu densitatea gazului ce curge pe suprafețele cilindrului. Senzorul pentru măsurarea densității gazului constă într-un cilindru subțire din metal ce vibrează cu frecvența de rezonanță. Gazul curge dealungul suprafeței interioare și exterioare ale cilindrului, fiind în contact cu suprafața vibrantă. Masa gazului ce vibrează odată cu cilindrul este dependentă de densitatea gazului. Dacă masa gazului crește, frecvența de rezonanță descrește. Astfel densitatea gazului este funcție de frecvența vibrațiilor. În figura 1 se prezintă un densimetru electronic tipic [4].

Dependența densității gazului de perioada de timp τ a traductorului este de tip parabolic:

$$\rho = C_0 + C_1\tau + C_2\tau^2. \quad (4)$$

unde C_0 , C_1 și C_2 sunt constante de etalonare ale dispozitivului utilizat.

Un posibil domeniu de măsurare al acestor densimetre este, de exemplu, (1–400) kg·m⁻³. Exactitatea de măsurare a densimetrelor electronice pentru măsurarea densității gazului natural este de aproximativ 0,15 % din valoarea

The temperature range can be, for example, $(-20 - 80)^{\circ}\text{C}$. The temperature coefficient is approximately $0.001 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

The uncertainty of each of the methods used for determining the compression factor of natural gas differs. For example, the following equation is used to calculate the compression factor using the SGERG-88 method [5]:

$$\delta_Z = \sqrt{[A_{H_S} \delta_{H_S}]^2 + [A_{G_R} \delta_{G_R}]^2 + [A_{CO_2} \delta_{CO_2}]^2 + [A_T \delta_T]^2 + [A_p \delta_p]^2} . \quad (5)$$

where the sensitivity coefficients A_{H_S} , A_{G_R} , A_{CO_2} , A_T , A_p and the errors of the devices measuring the input values δ_{H_S} , δ_{G_R} , δ_{CO_2} , δ_T , δ_p are given in Table 1.

In the case of non-correlated input quantities, the final uncertainty of this method is 0.11 %. In the case of correlated input quantities of the superior calorific value and mole fraction of CO_2 , the final uncertainty is 0.16 %.

măsurată. Domeniul de temperatură poate fi, de ex., $(-20 - 80)^{\circ}\text{C}$. Coeficientul de temperatură este de aproximativ $0,001 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Incertitudinea de determinare a factorului de compresie al gazului natural depinde de metoda utilizată. De exemplu, dacă pentru calculul factorului de compresie se utilizează metoda SGERG-88 [5], ecuația este de forma:

unde coeficienții de sensibilitate A_{H_S} , A_{G_R} , A_{CO_2} , A_T , A_p și erorile de măsurare ale mărimilor de intrare ale aparatului de măsurat δ_{H_S} , δ_{G_R} , δ_{CO_2} , δ_T , δ_p sunt date în Tabelul 1.

În situația în care mărimile de intrare sunt necorelate, incertitudinea finală este de 0,11 %. În cazul în care mărimile de intrare, valoarea calorifică superioară și fracția molară a CO_2 sunt corelate, incertitudinea finală este de 0,16 %.

Table 1: Sensitivity coefficients and errors of measuring devices for the SGERG-88 method
Tabelul 1: Coeficienții de sensibilitate și erorile de măsurare ale aparatelor pentru metoda SGERG-88

Gas input parameters <i>Parametrii de intrare ai gazului</i>		Sensitivity coefficients <i>Coeficienții de sensibilitate</i>	Errors of measuring devices <i>Erorile de măsurare ale aparatelor</i>
Quantity Mărime	Unit U.M.	[-]	[%]
Superior calorific value <i>Valoarea calorifică superioară</i>	[MJ·m ⁻³]	0.28	0.15
Relative molar mass <i>Masa molară relativă</i>	[-]	0.22	0.20
CO_2 mole fraction <i>Fracția molară a CO_2</i>	[mol]	0.33	0.20
Temperature <i>Temperatură</i>	[K]	0.70	0.05
Pressure <i>Presiune</i>	[MPa]	0.15	0.30

The uncertainty of the density can be expressed using the pTZ method, where it is necessary to determine the sensitivity coefficients. Gas density determined by the pTZ method is given by the relation:

$$\rho_1 = \rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1} . \quad (6)$$

The relations hold for the sensitivity coefficients:

$$A_{\rho_{\text{std}}} = \frac{\partial \rho_1}{\partial \rho_{\text{std}}} = \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1} . \quad (7)$$

Pentru a se determina densitatea gazului prin metoda pTZ este necesar să se determine coeficienții de sensibilitate. Formula de determinare a densității gazului prin metoda pTZ este de forma:

$$\rho_1 = \rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1} . \quad (6)$$

Formulele pentru determinarea coeficienților de sensibilitate sunt de forma:

$$A_{\rho_{\text{std}}} = \frac{\partial \rho_1}{\partial \rho_{\text{std}}} = \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1} . \quad (7)$$

$$A_{Z_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial Z_1} = -\rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1^2} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (8)$$

$$A_{Z_{\text{std}}} = \frac{\partial \rho_1}{\partial Z_{\text{std}}} = \rho_{\text{std}} \frac{1}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (9)$$

$$A_{p_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial p_1} = \rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (10)$$

$$A_{T_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial T_1} = -\rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1^2}. \quad (11)$$

The final uncertainty of the gas density calculated using the pTZ method is:

$$u_{\rho_1} = \sqrt{(A_{\rho_{\text{std}}} u_{\rho_{\text{std}}})^2 + (A_{Z_1} u_{Z_1})^2 + (A_{Z_{\text{std}}} u_{Z_{\text{std}}})^2 + (A_{p_1} u_{p_1})^2 + (A_{T_1} u_{T_1})^2}. \quad (12)$$

One advantage of vibrating densimeters is in the direct measurement of the gas density. A typical installation of a vibrating densimeter to a pipe is shown in Figure 2. The vibrating densimeter is installed behind a primary device which measures the gas flow (orifice, nozzle, Venturi tube). A disadvantage of vibrating densimeters is that measured gas must be brought into the densimeter through a pipe. This disadvantage takes effect when the temperature of the ambient is very different to that of the flowing gas. In this case, the gas temperature in the pipe changes and the gas density also changes. This effect is partially compensated by a temperature reservoir in which the vibrating densimeter is installed.

$$A_{Z_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial Z_1} = -\rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1^2} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (8)$$

$$A_{Z_{\text{std}}} = \frac{\partial \rho_1}{\partial Z_{\text{std}}} = \rho_{\text{std}} \frac{1}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (9)$$

$$A_{p_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial p_1} = \rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1}. \quad (10)$$

$$A_{T_1} = \frac{\partial \rho_1}{\partial T_1} = -\rho_{\text{std}} \frac{Z_{\text{std}}}{Z_1} \frac{p_1}{p_{\text{std}}} \frac{T_{\text{std}}}{T_1^2}. \quad (11)$$

Incertitudinea finală a densității gazului prin utilizarea metodei pTZ este:

Unul din avantajele utilizării densimetrelor electronice este măsurarea directă a densității gazului. O instalație tipică cu un astfel de densimetru montat pe o conductă este prezentată în Figura 2. Densimetrul este montat în spatele dispozitivului primar ce măsoară debitul de gaz (orificiu, ajutoraj, tub Venturi). Un dezavantaj al densimetrelor electronice ar fi acela că, gazul măsurat trebuie să fie introdus într-un densimetru montat pe conductă. Acest dezavantaj generează efecte atunci când temperatura mediului ambiant este diferită de temperatura gazului ce curge prin conductă. Într-un astfel de caz temperatura din conductă duce la modificarea densității gazului. Acest efect este parțial compensat de temperatura carcsei în care este montat densimetrul cu vibrații.

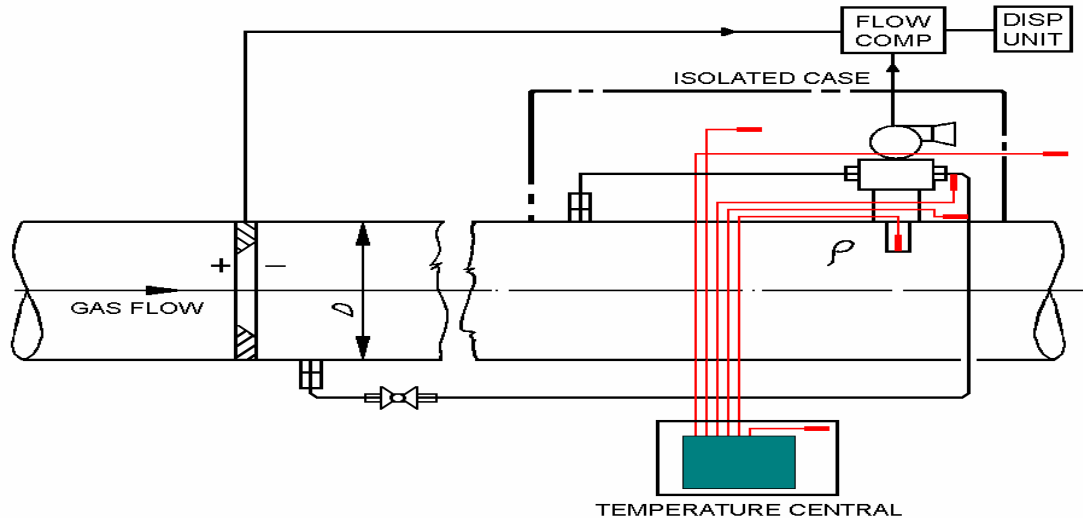


Fig. 2: Typical installation of vibrating densimeter to the pipe
Fig. 2: Montare tipică a densimetrului de vibrație pe conductă

This disadvantage is eliminated if the pTZ method is used. The values of the density of the flowing gas are calculated from the values of the pressure and temperature taken directly at the point of the installation of the primary device. However, the other gas parameters must also be known and in the process of determining these values the uncertainties occur.

2. EXPERIMENTAL MEASUREMENT

A control station with the possibility of data storage was used for experimental measurement of temperature. The measurement control station was located at an international natural gas delivery station. It was installed at the pipeline as close as possible to the density measurement instrument. With the aid of the control station, the temperature was read at the points of the pressure tapings, at the input of the vibrating densimeter, inside the actual vibrating densimeter and before the primary device. Furthermore, the temperature inside the case with the vibrating densimeter and the ambient temperature were measured (Figure 2). The density of the natural gas was also measured by the vibrating densimeter.

Based on long-term experience with measurement of the flow and density of natural gas, it was proposed to minimize the differences in the values of the density determined by the pTZ method (SGERG-88) and the method of direct measurement. In extreme cases, these variations reached $0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Figure 3 shows the curves of the natural gas density which was measured directly by the vibrating densimeter and calculated using the pTZ method. These values were measured inside the pipe without any additional insulation. The graph also shows the ambient temperature. The data was recorded by the control station for a period of 24 hours at five-minute intervals.

Acest dezavantaj este eliminat dacă se utilizează metoda pTZ. Valorile densității gazului sunt calculate cu valorile de presiune și temperatură determinate direct la punctul de instalare al dispozitivului primar. Cu toate acestea, este necesar a se cunoaște și alți parametri ai gazului, care se iau în calcul, împreună cu incertitudinile lor.

2. MĂSURĂRI EXPERIMENTALE

În măsurarea experimentală a temperaturii s-a utilizat o stație de control, care are posibilitatea de stocare a datelor. Stația de control respectivă a fost utilizată la o stație internațională de distribuție a gazului natural. Ea a fost instalată pe conductă, cât mai aproape posibil de instrumentul de măsurare al densității. Cu ajutorul stației de control, s-a citit temperatura în punctele critice de presiune, la intrarea densimetrului de vibrații, în interiorul densimetrului de vibrații și înainte de dispozitivul primar. Mai mult, au fost măsurate și temperatura din interiorul carcasei densimetrului electronic și temperatura ambiantă (Figura 2). Densitatea gazului natural s-a măsurat cu densimetrul.

Bazându-ne pe o lungă experiență în măsurarea debitelor de gaz și a densității gazului natural, s-a propus să se minimizeze diferențele între valorile densității determinate prin metoda pTZ (SGERG-88) și metoda măsurării directe. În cazuri extreme aceste diferențe ajung până la $0,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Figura 3 prezintă curbele densității gazului natural măsurate direct cu ajutorul densimetrului cu vibrații și calculate prin metoda pTZ. Aceste valori au fost măsurate în interiorul conductei fără nici o izolare suplimentară. Graficul prezintă, deasemenea, temperatura ambiantă. Datele au fost înregistrate de stația de control pe o perioadă de 24 ore la intervale de 5 minute.

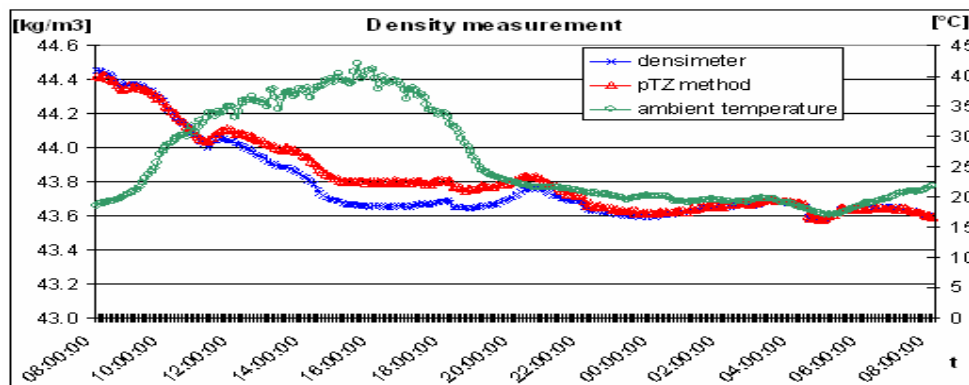


Fig. 3: Density measurement with basic insulation
Fig. 3: Măsurarea densității cu o izolație de bază

The graph indicates that during the measurement of the density of the natural gas using the vibrating densimeter, the natural gas inside the pipe is heated as a result of increasing temperature of the ambient. Through this pipe, natural gas is led into the vibrating densimeter, thus introducing a systematic error, which can be minimized with the application of additional insulation.

Figure 4 shows the data measured inside the pipe with the additional insulation. In this case, the differences in the values of the density determined by the pTZ method and the method of direct measurement are smaller.

Graficul indică că în timpul măsurării densității gazului natural cu ajutorul densimetrului de vibrație, gazul natural din interiorul conductei s-a încălzit, ca rezultat al creșterii temperaturii ambiante. Gazul natural din conductă trece prin densimetrul de vibrație, ceea ce conduce la o eroare sistematică, care poate fi minimizată prin efectuarea unei izolații suplimentare corespunzătoare.

Figura 4 arată datele măsurate în interiorul conductei cu o izolație suplimentară. În acest caz diferențele între valorile densității determinate prin metoda pTZ și cele măsurate prin metoda directă sunt mai mici.

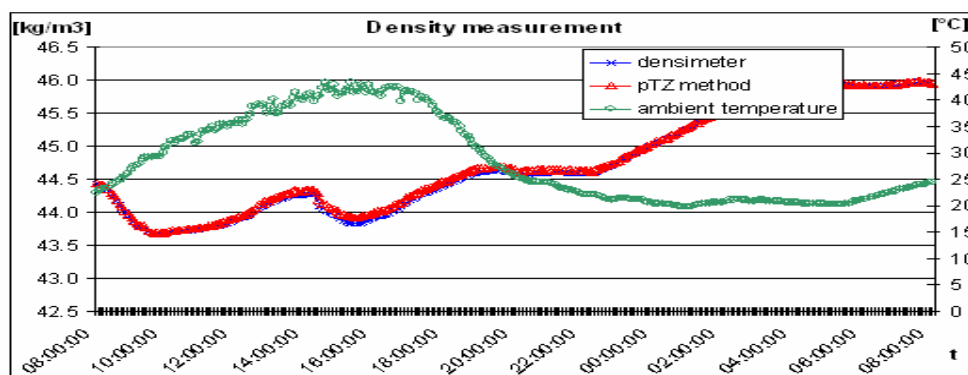


Fig. 4: Density measurement with I level insulation

Fig. 4: Măsurarea densității cu o izolație de nivel I

In order to minimize the differences between the gas density using the pTZ method and the direct measurement method using the vibrating densimeter, several methods of pipe insulation were proposed. In practice the so-called “three-insulations” method proved best. Here, not only the measuring pipe is insulated but also the pipe leading to the vibrating densimeter and the case containing the actual vibrating densimeter too. Figure 5 shows the data measured inside the pipe with this type of insulation.

Pentru a minimiza diferențele dintre valorile densității gazului determinate prin metoda pTZ și prin metoda directă cu ajutorul densimetrului electronic, s-au propus câteva metode de izolare a conductei. În practică, așa numita “izolare triplă”, s-a dovedit a fi cea mai bună metodă. Aici, nu numai conducta de măsurare este izolată, ci și porțiunea de conductă ce duce spre densimetru și carcasa în care acesta este montat. Figura 5 arată datele măsurate în interiorul conductei cu acest tip de izolație.

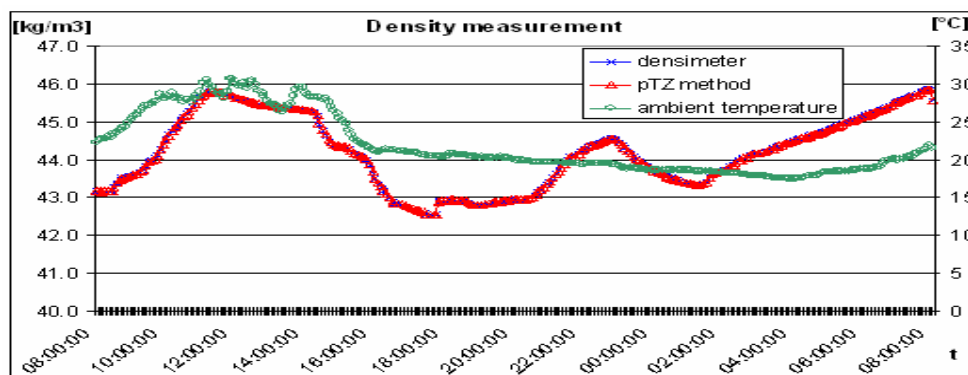


Fig. 5: Density measurement with II level insulation

Fig. 5: Măsurarea densității cu o izolație de nivel II

Figure 6 shows the ambient temperature effect on the differences of the density measured by the vibrating densimeter and also the densities determined by the pTZ method for all presented methods of insulation.

Figura 6 arată efectul temperaturii ambiante asupra diferențelor densităților măsurate direct cu ajutorul densimetrului electronic și cele determinate prin metoda pTZ, pentru toate tipurile de izolații.

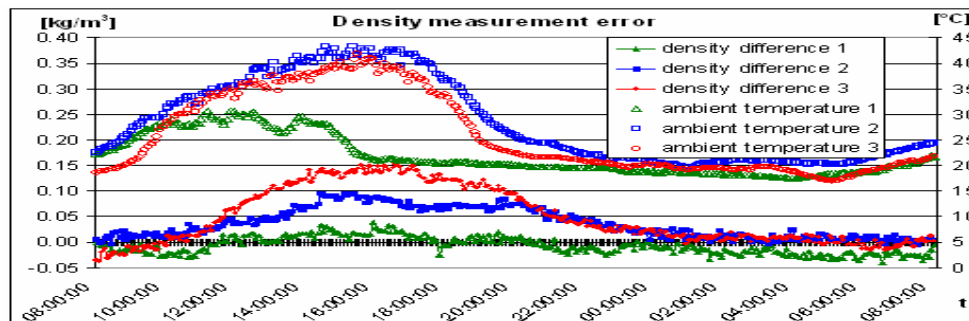


Fig. 6: Ambient temperature effect on vibrating densimeter measurement of gas density

Fig. 6: Efectul temperaturii ambiante asupra măsurării densității gazului cu densimetrul de vibrație

The graph indicates that the additional insulation influenced the accuracy of density measurement by the vibrating densimeter. After the sufficient insulation, the values measured by the vibrating densimeter are nearly equal to the values determined by the pTZ method. This effect is shown in Table 2.

Graficul indică că izolația suplimentară influențează exactitatea de măsurare a densității cu densimetrul. După o izolație corespunzătoare, valorile măsurate cu ajutorul densimetrului sunt aproape egale cu valorile determinate cu ajutorul metodei pTZ. Acest effect este arătat în Tabelul 2.

Table 2: Ambient temperature effect on vibrating densimeter measurement of gas density

Tabelul 2: Efectul temperaturii ambiante asupra măsurării densității gazului măsurată cu densimetrul electronic

Insulation level <i>Nivelul izolației</i>	without <i>Fără</i>	Basic <i>Bază</i>	Level I <i>Nivel I</i>	Level II <i>Nivel II</i>
Insulation covers <i>Porțiunile izolate</i>		- measuring pipe <i>- conducta de măsurare</i> - external insulation <i>- izolație externă</i>	- measuring pipe <i>- conducta de măsurare</i> - external insulation <i>- izolație externă</i> - densimeter pipeline <i>- densimetrul de pe conductă</i>	- measuring pipe <i>- conducta de măsurare</i> - external insulation <i>- izolație externă</i> - densimeter pipeline <i>- densimetrul de pe conductă</i> - internal insulation <i>- izolație internă</i>
Typical measured errors in usual everyday praxis <i>Erorile de măsurare în practica uzuală zilnică</i>	1,00 kg·m ⁻³	0,15 kg·m ⁻³	0,10 kg·m ⁻³	0,03 kg·m ⁻³
Typical relative errors <i>Erorile de măsurare relative</i>	cca 2,50 %	cca 0,40 %	cca 0,25 %	cca 0,10 %
Maximal measured errors during our experiments <i>Erorile maxime de măsurare din timpul experimentului</i>	0,50 kg·m ⁻³	0,08 kg·m ⁻³	0,04 kg·m ⁻³	0,02 kg·m ⁻³
Maximal relative errors <i>Erorile maxime relative</i>	cca 1,50 %	cca 0,20 %	cca 0,10 %	cca 0,05 %

The gas pressure during the experimental measurement was approximately 60 bar. The gas temperature varied around 20 °C. Typical values of parameters necessary for the pTZ SGERG-88 method were as follows: the molar ratio of carbon dioxide 0.030, the molar ratio of nitrogen 0.790, the superior calorific value of natural gas 37 MJ·m⁻³ and the relative natural gas density 0.565. These quantities are measured using a chromatograph and a gas specific gravity transducer.

For a pipe 500 mm in diameter with a 300 mm orifice with flange tappings, it is possible to calculate the gas flow through the orifice with a difference pressure of 25 kPa. Table 3 shows the ambient temperature effect on gas flow measurement for three levels of insulation

În timpul experimentului presiunea gazului din conductă a fost de aproximativ 60 bari. Temperatura gazului a variat în jurul valorii de 20 °C. Valorile tipice ale parametrilor necesari pentru utilizarea metodei pTZ SGERG-88 au fost următorii: fracția molară a dioxidului de carbon 0,030, fracția molară a azotului 0,790, valoarea calorifică superioară a gazului natural 37 MJ·m⁻³ și densitatea relativă a gazului natural 0,565. Aceste mărimi au fost măsurate cu ajutorul cromatografului și a unui traductor gravimetric specific.

Pentru o conductă cu diametrul de 500 mm și o flanșă cu orificiul de 300 mm este posibil calculul debitului de gaz prin acest orificiu la o diferență de presiune de 25 kPa. Tabelul 3 arată efectul temperaturii ambiante asupra măsurării debitului de gaz pentru trei niveluri de izolații.

Table 3: Ambient temperature effect on gas flow measurement

Tabelul 3: Efectul temperaturii ambiante asupra măsurării debitului de gaz

Quantity Mărimea	Basic Bază	Level I Nivel I	Level II Nivel II	Unit U.M.
Calculated density <i>Densitatea calculată</i>	44.9093	44.9093	44.9093	[kg·m ⁻³]
Measured density <i>Densitatea măsurată</i>	45.0593	45.0043	44.9393	[kg·m ⁻³]
Absolute density error <i>Eroarea absolută a densității</i>	0.150	0.095	0.030	[kg·m ⁻³]
Relative density error <i>Eroarea relativă a densității</i>	0.334	0.212	0.067	[%]
Calculated gas flow <i>Debitul de gaz calculat</i>	246118	246118	246118	[kg·h ⁻¹]
Measured gas flow <i>Debitul de gaz măsurat</i>	246529	246378	246201	[kg·h ⁻¹]
Absolute gas flow error <i>Eroarea absolută a debitului de gaz</i>	410.683	260.179	82.192	[kg·h ⁻¹]
Relative gas flow error <i>Eroarea relativă a debitului de gaz</i>	0.167	0.106	0.033	[%]

These results indicate that the operational density measurement is very difficult. With reference to constructional implementation and the method of installation of this system, the accuracy limits of gas density measurement by vibrating densimeter depend on the accuracy of instrumentation and minimization of the ambient temperature effect by insulation (density transducer, densimeter pipeline, measuring pipe).

Rezultatele arată că operația de măsurare a densității este foarte dificilă. Având în vedere varianta constructivă a sistemului de măsurare a densității și metoda de instalare a acestuia, limitele de exactitate ale măsurării densității gazului cu densimetrul de vibrație depind de exactitatea aparatelor de măsurat și de minimizarea efectului temperaturii ambiante prin izolație (traductorul de densitate, densimetrul pe conductă, conducta de măsurare).

3. CONCLUSION

In order to minimize the differences between the gas density using the pTZ method and the direct measurement method using the vibrating densimeter, several methods of pipe insulation were proposed. In practice, the so-called “three-insulations” method proved to be best. Here, not only the measuring pipe is insulated but also the pipe leading to the vibrating densimeter and the case containing the actual vibrating densimeter. As a suitable material for insulation of devices covers appears polystyrene and for insulation of pipelines polyurethane foam. Insulation thickness should be chose depending on the type of the environment.

REFERENCES

- [1] VDI/VDE 2040 Part 2: Calculation Principles for Measurement of Fluid Flow Using Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes, 1987
- [2] ISO INTERNATIONAL STANDARD: ISO 12213-2: Natural gas – Calculation of compression factor, Calculation using molar-composition analysis, 2005
- [3] ISO INTERNATIONAL STANDARD: ISO 12213-3: Natural gas – Calculation of compression factor, Calculation using physical properties, 2005
- [4] Solartron - 7812 Gas Density Transducer, Technical Manual, England, 1999
- [5] JAESCHKE, M., HUMPHREYS, A. E.: Standard GERG Virial Equation for Field Use, GERG TECHNICAL MONOGRAPH 5, Düsseldorf, 1991

Scientific revue:

Ion SANDU, doctor engineer, main scientific researcher 2nd degree, Head of Mass and Related Quantities Laboratory at the National Institute of Metrology, e-mail: ion.sandu@inm.ro.

About the authors:

Tomáš HAJDUK: corresponding author, engineer, Czech Metrology Institute, e-mail: thajduk@cmi.cz.

František Staněk engineer, Czech Metrology Institute, e-mail

Jiří TESAR: doctor engineer, Czech Metrology Institute, e-mail: jtesar@cmi.cz.

Zdeněk KRAJÍČEK: Head of the Department Pressure, Czech Metrology Institute, e-mail: zkrajicek@cmi.cz

Dominik PRAŽÁK: corresponding author, engineer, Czech Metrology Institute, e-mail: dprazak@cmi.cz

3. CONCLUZII

Pentru a minimiza diferențele dintre densitățile gazului calculate prin metoda pTZ și măsurate direct cu ajutorul densimetrului electronic s-au propus câteva metode de izolație a conductei de gaz. În practică, așa numita “izolare triplă”, s-a dovedit cea mai bună metodă. Aici, nu s-a izolat numai conducta de măsurare ci și porțiunea de conductă ce duce spre densimetrul electronic și carcasa în care este montat densimetrul electronic. Ca material corespunzător pentru izolație, pentru carcasa aparatelor de măsurat s-a utilizat polistirenul, iar pentru izolația conductelor, spumă poliuretanică. Izolațiile corespunzătoare se aleg în funcție de mediul în care se face măsurarea.

REFERINȚE

- [1] VDI/VDE 2040 Part 2: Calculation Principles for Measurement of Fluid Flow Using Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes, 1987
- [2] ISO INTERNATIONAL STANDARD: ISO 12213-2: Natural gas – Calculation of compression factor, Calculating using molar-composition analysis, 2005
- [3] ISO INTERNATIONAL STANDARD: ISO 12213-3: Natural gas – Calculation of compression factor, Calculation using physical properties, 2005
- [4] Solartron - 7812 Gas Density Transducer, Technical Manual, England, 1999
- [5] JAESCHKE, M., HUMPHREYS, A. E.: Standard GERG Virial Equation for Field Use, GERG TECHNICAL MONOGRAPH 5, Düsseldorf, 1991

Revizia științifică:

Ion SANDU, doctor inginer, cercetător științific principal II, Șef al Laboratorului Mase al Institutului Național de Metrologie, e-mail: ion.sandu@inm.ro.

Despre autori:

Tomáš HAJDUK: autor corespondent, inginer la Czech Metrology Institute, e-mail: thajduk@cmi.cz.

František Staněk, inginer la Czech Metrology Institute, e-mail:

Jiří TESAR: doctor la Czech Metrology Institute, e-mail: jtesar@cmi.cz.

Zdeněk KRAJÍČEK: șef departament Presiuni la Czech Metrology Institute, e-mail: zkrajicek@cmi.cz

Dominik PRAŽÁK: autor corespondent, inginer la Czech Metrology Institute corresponding author, e-mail: dprazak@cmi.cz