

NEINVAZÍVNE MERANIE PRIETOKU A SMERU PRÚDENIA ZEMNÉHO PLYNU PRI VYSOKOM TLAKU POMOCOU ULTRAZVUKOVEJ METÓDY A MATEMATICKÝCH ALGORITMOV PRE ZABEZPEČENIE VYSOKO PRESNÉHO MERANIA S OPAKOVATEĽNOSŤOU VO VYBRANOM INTERVALE S OHĽADOM NA BEZPEČNOSTNÉ KRITÉRIA TECHNOLOGIE.

Miroslav RUSKO¹, Ján ILKO²

¹*Materiálovotechnologická fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave/ Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Bratislava, Slovenská republika*

²*Materiálovotechnologická fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave*

Abstrakt

Článok popisuje meranie prietoku a smeru prúdenia zemného plynu pri vysokom tlaku pomocou ultrazvukovej metódy, kde je použitie konvenčných metód merania prietoku komplikované vzhľadom na vysoký tlak meraného média a prostredie technológie zaradené do kategórie ATEX 1. Článok obsahuje popis meraného miesta, metódu a prístroj použitý na meranie a namerané výsledky spolu s ich štatistickým vyhodnotením.

Kľúčové slová: Meranie prietoku, zemný plyn, bezpečnosť.

Abstract

The article describes the measurement of flow and direction of natural gas flow at high pressure using an ultrasonic method where the use of conventional flow measurement methods is complicated by the high pressure of the measured medium and the technology environment included in ATEX category 1. The article contains a description of the measured site, method and apparatus used for measurement and measured results together with their statistical evaluation.

Keywords: Measurement of flow, natural gas, safety.

Úvod

Dôvodom nasledujúcej štúdie bola požiadavka nájsť technické riešenie merania prietoku a smeru prúdenia zemného plynu na kompresorovej stanici. Požiadavka vznikla nakoľko doterajšie invazívne metódy boli nestabilné, nepodávali presné údaje o prietoku média a ich opakovateľnosť bola neuspokojivá. Ako riešenie bol zvolený ultrazvukový prietokomer G809 s dvoma kanálmi pre vyššiu presnosť merania. Prístroj ponúka nemecký výrobca, ktorý sa venuje výhradne ultrazvukovým prístrojom pre procesné merania a vzhľadom na dlhoročný výskum a vývoj v tejto oblasti dosahujú tieto prístroje vysokú spoľahlivosť, presnosť a opakovateľnosť. Meranie kvapalných médií je menej problematické vzhľadom na to, že procesný tlak resp. jeho zmena nemá na meranie prakticky žiaden význam. Takisto teplota, pokiaľ nejde o prekročenie alebo podkročenie pracovnej teploty senzorov, ktoré sú v kontakte s potrubím meraného média, nemá výrazný vplyv na priebeh merania a na výsledky merania. Meranie plynov je komplikovanejšie, nakoľko šírenie ultrazvuku v plynoch má veľký útlm. Za týmto účelom výrobca vyvinul senzory, ktoré využívajú na rozdiel od senzorov výlučne určených na meranie kvapalín, kde ultrazvukové vlny prechádzajú od jedného senzora cez stenu potrubia, médium, opäť cez stenu potrubia, k druhému senzoru, takzvané Lamb Wave senzory, kde sa využíva šírenie ultrazvuku pozdĺžne stenami rúry, čo významne zvyšuje silu a kvalitu signálu, aby prístroj získal informáciu o rýchlosti zvuku v médiu a rozdielových časoch aby bolo možné určiť rýchlosť prúdenia média.

Popis meracieho bodu

Meranie bolo uskutočnené na potrubí s nasledujúcimi parametrami:

- Priemer potrubia 170 mm.
- Hrúbka potrubia 12 mm.
- Materiál uhlíková oceľ.

Merané médium je zemný plyn pri tlaku 82 bar, pričom jeho hodnota je priamo meraná manometrom. Jeho aktuálna hodnota nie je meraná kontinuálne a privádzaná elektronicky do prietokomera. Je zobratá stredná hodnota odčítaná z manometra a zadaná do prietokomera. Teplota je zadaná 20 °C.

Príprava meracieho bodu a osadenie senzorov

Meracie miesto musí byť pred osadením senzorov ošetrené, zbavené nečistôt a na povrch potrubia musí byť nalepený tlmiaci materiál, ktorý absorbuje odrazové zvukové vlny, ktoré spôsobujú interferenciu a výrazne tak znižujú kvalitu signálu. Ako tlmiaci materiál bol použitý samolepiaci materiál od švajčiarskeho výrobcu s nasledujúcimi parametrami.

Hrúbka 0,7 mm

Povrchová hmotnosť cca 1015 g/m²

Odolnosť voči poškodeniu 33 N/cm

Pevnosť v odlupovaní na oceľ (90°, 100 mm/min) ≥ 4 N/cm

Priepustnosť vodnej pary < 1 g/m² × 24 h

Pracovná teplota -30 až +80 °C

Odolný voči - Bewitterung, mráz, voda, UV

Krátkodobo odolný voči - olej, benzín, organické rozpúšťadlá

DENSIT páska AL je samolepiaca plastová páska s vrstvenou polyesterovou hliníkovou fóliou odolnou proti roztrhnutiu. Vysoko adhezívny butylový povlak dobre priľne na všetky bežné materiály. Povrch, okraje, záhyby a iné prechody sú úplne zakryté a zapečatené. DENSIT páska AL je odolná proti UV žiareniu a je odolná voči difúzii vodnej pary a kyslíku. Vďaka striebornému povrchu je vo viditeľných oblastiach aj opticky vhodná aplikácia. V kombinácii s vnútorným obalom z pásy DENSOLEN je odolná proti korózii odolná voči poveternostným vplyvom pre nadzemné potrubia, napr. na potrubných mostoch.¹



Obr. 1 Nalepovacia tlmiaca fólia DENSIT-Band AL.²

Popis meracieho prístroja G809

G809 je stacionárny upínací ultrazvukový systém pre neinvazívne meranie obojsmerného prietoku a hmotnostného prietoku plynov v potenciálne výbušnom prostredí (ATEX, IECEX Zóny 1 a FM triedy I, odd. 1). Robustný, odolný proti tlakom a korózii FLUXUS G809 je navrhnutý pre náročné aplikácie v oblasti výroby a distribúcie zemného plynu, ako aj chemického a petrochemického priemyslu, od zemného plynu v ústí vrtov až po korózne a toxické procesné plyny.³



Obr. 2 Ultrazvukový prietokomer FLUXUS G809.⁴

¹ DENSO. Innovative Technik für Pipelines. - [on-line] [2017-08-21] Dostupné na internete - URL: <https://www.gefahrgut-foren.de/files/DENSO%20Densit%20Band%20AL%20Produktbeschreibung.pdf>

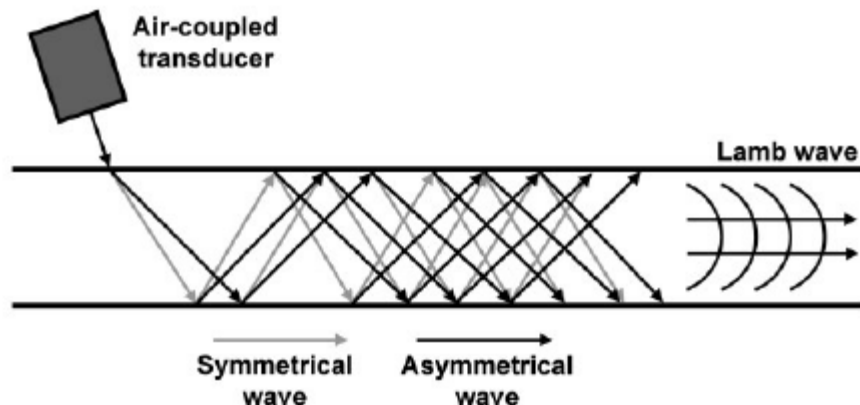
² Debrunner Acifer. - [on-line] [2017-08-21] Dostupné na internete - URL: <http://shop-da.dkh.ch/product.cfm?dim=566.127&sprache=d>

³ FLEXIM. - [on-line] [2017-08-21] Dostupné na internete - URL: <https://www.flexim.com/de/geraete/permanente-durchflussmesser-fuer-gase/fluxus-g809>

⁴ AQUIP. http://www.aquip.com.au/product_list/flexim-fluxus-g809-flow-meter/

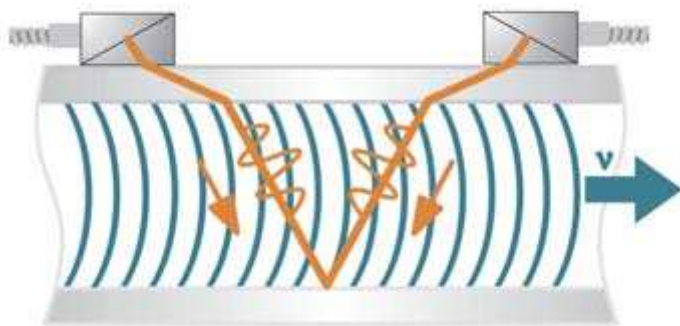
Senzory LambWave pre ultrazvukové meranie plynov

Akustické vlny sa v súčasnosti používajú v širokom spektre senzoričky vrátane fyzického snímania, chemického snímania a biosenzorov.⁵ Ultrazvukové snímače ponúkajú možnosť neinvazívneho merania chemických a procesných zariadení.⁶ Lamb vlny sú podobné pozdĺžnym vlnám, so zhusťovaním a roztáhovaním, ale sú ohraničené povrchom plechu alebo dosky, čo spôsobuje efekt vedenia vlny.⁷



Obr. 3 Šírenie Lamb vlny medzi povrchmi prostredia.⁸

Ultrazvukové signály sa používajú na meranie prietoku média v procese pomocou metódy rozdielu času tranzitu. Ultrazvukové signály sú odosielané zo snímača inštalovaného na potrubí a prijímaného druhým snímačom. Signály sa posielajú striedavo v smere prúdenia a proti smeru toku. Pretože médium, v ktorom sa ultrazvuk šíri, prúdi, je čas prechodu ultrazvukových signálov v smere toku kratší, než je proti smeru toku. Zmeria sa rozdiel v čase tranzitu a to umožňuje určenie priemernej rýchlosti toku na trase ultrazvuku. Na výpočet stredného priemeru rýchlosti prúdenia, ktorá je úmerná objemovému toku, možno použiť korekciu profilu. Celý merací cyklus je riadený integrovanými mikroprocesormi. Prijaté ultrazvukové signály sa kvalitatívne kontrolujú a vyhodnocuje sa ich spoľahlivosť. Tým sa eliminuje možná interferencia, ktorá môže skresľovať výsledky merania.



Obr. 4 Princíp merania prietoku ultrazvukom.⁹

⁵ Moussa Hoummady, Andrew Campitelli, and Wojtek Wlodarski, Acoustic wave sensors: design, sensing mechanisms and applications, Smart Materials and Structures 6 (1997), no. 6, 647.

⁶ R C Asher, Ultrasonic sensors in the chemical and process industries, Journal of Physics E: Scientific Instruments 16(1983), no. 10, 959.

⁷ NDT Resource center. - [on-line] [2017-08-21] Dostupné na internete - URL: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/ematlambwave.htm>

⁸ Alleman, Guyonne & M. J. M. Pel, Maurice & Groves, Roger. (2014). Air-coupled ultrasound for damage detection in CFRP using Lamb waves and ultrasonic verification. ICAST 2014 - 25th International Conference on Adaptive Structures and Technologies.

⁹ FLEXIM. Technische-spezifikation-fluxus-f601. - [on-line] [2017-08-21] Dostupné na internete - URL: <http://docplayer.org/38814309-Technische-spezifikation-fluxus-f601.html>

Meranie – praktická časť

Na pripravené meracie miesto boli namontované senzory. Ich vzájomné umiestnenie závisí od meraného média, geometrie potrubia a od typu samotných senzorov.



Obr. 5 Osadenie ultrazvukových senzorov na potrubie.

Prístroj G809 má implementovaný algoritmus, pomocou ktorého vypočíta a navrhne vzdialenosť medzi senzormi. To uľahčuje technikovi umiestniť senzory s najvyššou možnou presnosťou a vyhnúť sa tak chybám spojeným s výpočtom. Senzory sa nasadia na potrubie pomocou špeciálnej konzoly od výrobcu, ktorá umožňuje rýchle a presné osadenie senzorov. Na dokonalý prechod ultrazvukových vln do potrubia sa používa pasta, ktorá zabezpečí dokonalý kontakt medzi plochou senzora a potrubím. Prístroj G809 bol nakonfigurovaný podľa tabuľky 1.

Tabuľka 1 Konfigurácia prietokomera G809 na základe geometrie meraného bodu a média.

Quantity	Unit	A	B	Y
Outer Diameter	mm	170,00	170,00	(A + B) / n
Wall thickness	mm	12,00	12,00	n/a
Wall material		Carbon Steel	Carbon Steel	n/a
Roughness	mm	0,00	0,00	n/a
Fluid		Std natural gas	Std natural gas	n/a
Fluid temp.	°C	20,0	20,0	n/a
Fluid pressure	bar(a)	82,000	82,000	n/a
Sound paths		2	2	n/a
Transducer distance	mm	0,00	0,00	n/a
Volume Units		m/s	m/s	m3/h
Damping	s	30	30	30
Logging enabled		No	No	No
Storage Mode		n/a	n/a	n/a
Storage Rate		n/a	n/a	n/a
Ringbuffer		n/a	n/a	n/a
Add. Diagnostics		n/a	n/a	n/a
Cutoffflow +	m/s	0,05	0,05	n/a
Cutoffflow -	m/s	0,05	0,05	n/a
Calibration		No (default)	No (default)	n/a
Slope factor		n/a	n/a	n/a

Merané dáta zberá vnútorný datalogger prístroja a pomocou počítača a príslušného programu je možné namerané údaje spolu s priebežnou diagnostikou merania uložiť do počítača a ďalej vyhodnotiť. Namerané dáta sú zobrazené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Namerané údaje prietoku zemného plynu spolu s priebežnou diagnostikou merania.

	Flow velocity	Sound speed	Amplitude	Quality	SCNR	SNR	Vari.amplitude	Vari.time	Gain	Volume flow
	m/s	m/s	%	%	dB	dB	%	%	dB	m3/h
9:02	1,56	451,1	45,00%	80,00%	30,00	30,00	3,00%	0,00%	80,85	85,35
9:03	1,55	451,1	44,00%	92,00%	27,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,02
9:04	1,51	451,0	44,00%	92,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,24
9:05	1,54	451,1	44,00%	95,00%	30,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	86,75
9:06	1,55	451,1	44,00%	94,00%	31,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,32
9:07	1,54	451,2	44,00%	96,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,61
9:08	1,55	451,2	44,00%	93,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,84
9:09	1,54	451,2	44,00%	85,00%	30,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,82
9:10	1,55	451,2	44,00%	93,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,89
9:11	1,57	451,3	44,00%	96,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,13
9:12	1,56	451,2	44,00%	93,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,01
9:13	1,54	451,3	44,00%	92,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,03
9:14	1,56	451,3	44,00%	94,00%	29,00	30,00	4,00%	0,00%	82,32	88,82
9:15	1,56	451,3	44,00%	95,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,85
9:16	1,54	451,3	44,00%	95,00%	29,00	30,00	4,00%	0,00%	82,32	89,09
9:17	1,55	451,2	44,00%	94,00%	29,00	30,00	4,00%	0,00%	82,32	89,19
9:18	1,58	451,1	44,00%	93,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,47
9:19	1,55	451,5	44,00%	85,00%	27,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,61
9:20	1,55	451,7	44,00%	95,00%	30,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,86
9:21	1,61	451,8	44,00%	93,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,62
9:22	1,54	452,0	45,00%	91,00%	29,00	31,00	3,00%	0,00%	80,85	90,70
9:23	1,59	452,1	44,00%	92,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	88,22
9:24	1,59	452,0	44,00%	94,00%	29,00	30,00	2,00%	0,00%	82,32	92,31
9:25	1,55	452,1	44,00%	94,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,30
9:26	1,56	452,1	44,00%	95,00%	29,00	31,00	3,00%	0,00%	82,32	89,82
9:27	1,55	452,1	44,00%	93,00%	29,00	31,00	3,00%	0,00%	82,32	88,28
9:28	1,52	451,9	44,00%	94,00%	27,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,37
9:29	1,53	451,8	44,00%	91,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	87,65
9:30	1,54	451,6	44,00%	91,00%	27,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,28
9:31	1,63	451,4	45,00%	80,00%	27,00	30,00	4,00%	0,00%	80,85	88,62
9:32	1,56	451,1	44,00%	89,00%	29,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	92,98
9:33	1,55	450,9	44,00%	91,00%	28,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	89,56
9:34	1,55	450,8	44,00%	87,00%	30,00	30,00	4,00%	0,00%	82,32	89,43
9:35	1,57	450,7	44,00%	89,00%	29,00	29,00	3,00%	0,00%	82,32	89,90
9:36	1,55	450,5	44,00%	89,00%	29,00	29,00	3,00%	0,00%	82,32	90,52
9:37	1,52	450,3	44,00%	91,00%	29,00	29,00	2,00%	0,00%	82,32	89,29
9:38	1,52	450,0	44,00%	95,00%	28,00	29,00	3,00%	0,00%	82,32	88,01
9:39	1,50	449,5	45,00%	94,00%	27,00	29,00	3,00%	0,00%	80,85	87,31
9:40	1,56	449,1	45,00%	93,00%	26,00	29,00	3,00%	0,00%	80,85	87,30
9:41	1,53	448,8	45,00%	86,00%	28,00	29,00	3,00%	0,00%	80,85	88,62
9:42	1,54	448,6	44,00%	86,00%	29,00	28,00	4,00%	0,00%	82,32	87,76
9:43	1,54	448,4	44,00%	85,00%	28,00	28,00	4,00%	0,00%	82,32	89,72
9:44	1,52	448,3	44,00%	85,00%	27,00	28,00	3,00%	0,00%	82,32	88,42
9:45	1,53	448,1	44,00%	91,00%	27,00	28,00	4,00%	0,00%	82,32	87,88



Graf 1 Grafické zobrazenie rýchlosti prúdenia zemného plynu na meranom bode.

Štatistické vyhodnotenie merania rýchlosti prúdenia zemného plynu

Štandardná odchýlka merania, s	0.024304272760537
s^2	0.0005906976744186
Štandardná odchýlka meraní, σ	0.024026500520732
σ^2	0.00057727272727273
Počet meraní	44
Suma:	68.2
Priemerná hodnota:	1.55
Štandardná stredná odchýlka ($SE_{\bar{x}}$):	0.0036640069795072

Záver

Meranie akejkoľvek veličiny neinvazívnou metódou je z bezpečnostného hľadiska najoptimálnejšie pokiaľ ide o médium, ktoré je toxické, výbušné alebo predstavuje nejaké riziko. In situ merania sa však vyznačujú vysokou presnosťou nakoľko sú v priamom kontakte s meraným médiom. Meranie ultrazvukom vyžaduje veľmi zložité algoritmy na elimináciu interferencií, ktoré pri tejto metóde vznikajú, resp. môžu vzniknúť. Použitie ultrazvuku je spoľahlivo využívané aj napr. v prípade merania koncentrácie kyselín a iných médií kde sa konvenčne využívajú refraktometre. Refraktometer veľmi presná avšak invazívna metóda a pri vysokých tlakoch média alebo tlakových rázoch môže dôjsť k poškodeniu tesnení a prieniku média do okolia.

Praktické nasadenie G809 ukázalo, že použitie jednej vrstvy tlmiaceho materiálu je nepostačujúce a meranie vyžaduje dve vrstvy. Prejavilo sa to na nízkom signále odstup-signál-šum.

Prístroj G809, ktorý bol použitý vykazuje vysokú stabilitu aj vďaka tepelnej kompenzácii senzorov, nakoľko môže nastať stav, kedy slnečné svetlo zahrieva jeden senzor a druhý senzor je na druhej strane potrubia v tieni a tým vzniká tepelný rozdiel, ktorý môže spôsobiť geometrickú odchýlku vnútornej mechaniky senzora a tým narušiť spoľahlivosť celkového merania. Počas merania bol prietok a tlak média technologicky stabilizovaný a nevykazoval fluktuácie. Pri silných výkyvoch prietoku je možné použiť elektronický filter na vyhladenie meraných dát.

Výsledný nameraný prietok zodpovedá výpočtom technologa, vyhovuje požiadavkám prevádzky a je možné ním nahrádzať konvenčné in situ prietokometry so zárukou stability a spoľahlivosti.