



NICHT-INVASIVE-MESSUNG DES DURCHFLUSSES UND DER RICHTUNG VON ERDGAS MIT HOCHDRUCKVERFAHREN UND MATHEMATISCHEN ALGORITHMEN, UM EINE HOCHPRÄZISE MESSUNG MIT WIEDERHOLBARKEIT IN AUSGEWÄHLTEN INTERVALLEN INNERHALB DER SICHERHEITSKRITERIEN DER TECHNOLOGIE ZU ERBRINGEN

Ján ILKO - Miroslav RUSKO

NON-INVASIVE FLOW AND DIRECTION MEASUREMENT OF NATURAL GAS UNDER HIGH PRESSURE USING METHODS AND MATHEMATICAL ALGORITHMS TO OBTAIN A HIGHLY PRECISE MEASUREMENT WITH REPEATABILITY IN SELECTED INTERVALS WITHIN THE SPECIFIED CRITERIA OF TECHNOLOGY



ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS '2017

ABSTRAKT

Der Artikel beschreibt die Messung von Durchfluss und Richtung von Erdgas bei hohem Druck, mit einem Ultraschallverfahren, bei dem die Verwendung herkömmlicher Durchflussmessverfahren durch den hohen Druck des Messmediums und der in der ATEX-Kategorie 1 enthaltenen Technologieumgebung erschwert ist und enthält eine Beschreibung der Messstelle, Methode und Apparatur für die Messung und der Messergebnisse sowie deren statistische Auswertung.

SCHLÜSSELWÖRTER: Messung von Strömung, Erdgas, Sicherheit.

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.

Prolog

Der Grund für die folgende Studie war die Notwendigkeit, eine technische Lösung zu finden, um den Durchfluss und die Richtung des natürlichen Methanflusses an der Kompressorstation zu messen. Die Nachfrage war auf die Tatsache zurückzuführen, dass die derzeitigen invasiven Verfahren instabil waren, keine genauen Daten über den Fluss des Mediums lieferten und ihre Wiederholbarkeit



nicht zufriedenstellend war. Als Lösung wurde der zweikanalige Ultraschall-Durchflussmesser G809 für höhere Genauigkeit gewählt. Das Gerät wird von einem deutschen Hersteller angeboten, der sich ausschließlich der Ultraschall-Instrumentierung für Prozessmessungen widmet und aufgrund der langjährigen Forschung und Entwicklung in diesem Bereich sind diese Instrumente äußerst zuverlässig, genau und besitzen eine hohe Wiederholgenauigkeit. Der Prozessdruck bei flüssigen Medien hat bei dieser Art der Messung wenig bis keine Auswirkung auf die Genauigkeit der Messung. Auch wenn die Temperatur der Sensoren, die mit der Rohrleitung des Messmediums in Kontakt sind, unterschritten oder überschritten wird, hat dies keine wesentlichen Auswirkungen auf den Messfortschritt und die Messergebnisse. Die Gasmessung ist komplizierter, da die Ausbreitung von Ultraschall in Gas eine starke Dämpfung aufweist. Zu diesem Zweck hat der Hersteller die Lambwavesensoren entwickelt, die im Gegensatz zu Shearwavesensoren, welche ausschließlich für die Messung von Flüssigkeiten konstruiert sind, eingesetzt werden. Bei den Lambwavesensoren wandern die Ultraschallwellen von einem Sensor durch die Wand der Rohrleitung und durch das Medium zum zweiten Sensor, wobei die Ultraschallausbreitung durch die Rohrwandlängen genutzt wird, was die Stärke und Qualität des Signals signifikant erhöht, so dass das Instrument Informationen über die Schallgeschwindigkeit in dem Medium und die Differenzzeiten erhält, um die Strömungsrate des Mediums zu bestimmen.

Beschreibung der Messstelle

Die Messungen wurden an einer Pipeline mit folgenden Parametern durchgeführt:

- Rohrdurchmesser 130 mm, Wanddicke 12 mm
- Material Kohlenstoffstahl

Das Messmedium ist Erdgas mit einem Druck von 82 bar, dessen Wert direkt mit einem Manometer gemessen wird. Der aktuelle Wert wird nicht kontinuierlich gemessen und elektronisch an den Durchflussmesser übertragen. Der Durchschnittswert wird vom Manometer genommen und in das Durchflussmessgerät eingegeben. Die Temperatur ist auf 20 °C eingestellt.

Vorbereitung der Messstelle und Montage der Sensoren

Die Messstelle muss frei von Verunreinigungen sein und mit einem Dämpfungsmaterial versehen sein, das reflektierende Schallwellen absorbiert, die Störungen verursachen und die Signalqualität erheblich beeinträchtigen. Als Puffermaterial wurde das selbstklebende Material eines Schweizer Herstellers mit folgenden Parametern verwendet.

Dicke 0,7 mm

Flächengewicht ca 1015 g/m²

Reissfestigkeit 33 N/cm

Schälfestigkeit auf Stahl (90°, 100 mm/min) ≥ 4 N/cm

Wasserdampfdurchlässigkeit < 1 g/m² × 24 h

Betriebstemperatur -30 bis +80 °C

Beständig gegen - Bewitterung, Frost, Wasser, UV

Nicht dauerhaft beständig gegen - Öl, Benzin, organische Lösemittel.

DENSIT-Band AL ist ein selbstklebendes Kunststoffband mit einer aufkaschierten, polyesterverstärkten und hochreißfesten Aluminiumfolie. Die hochklebrige Butylbeschichtung haftet sehr gut auf allen gängigen Werkstoffen. Oberfläche, Kanten, Falze und andere Übergänge werden vollflächig bedeckt und abgedichtet. DENSIT-Band AL ist UV-beständig und diffusionsdicht gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff. Durch die silberne Oberfläche ist auch in Sichtbereichen eine optisch unauffällige Applikation gegeben. In Kombination mit einer DENSOLEN-Band Innenwicklung



wird ein dauerhafter und witterungsbeständiger Korrosionsschutz für oberirdische Rohrleitungen, z.B. auf Rohrbrücken, hergestellt.¹



Abb 1 Selbstklebendes Kunststoffband DENSIT-Band AL.²

Durchflussmessgerät G809

Der G809 ist das stationäre Clamp-On-Ultraschallsystem für die eingriffsfreie bidirektionale Volumen- und Massestrommessung von Gasen in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX, IECEx Zonen 1 / und FM Class I, Div. 1). Mit seinem robusten, druckgekapselten und korrosionsbeständigem Feldgehäuse ist der FLUXUS G809 speziell für anspruchsvolle Anwendungen in der Erdgasförderung und -verteilung sowie der chemischen und petrochemischen Industrie konzipiert von Erdgas am Bohrkopf hin zu korrosiven und toxischen Prozessgasen.³



Abb 2 Ultraschalldurchflussmessgerät FLUXUS G809.⁴

LambWave-Sensoren für die Ultraschallgasmessung

Akustische Wellen werden derzeit in einer Vielzahl von Sensorfeldern eingesetzt, einschließlich physikalischer Sensorik, chemischer Sensorik und Biosensorik.⁵ Ultraschallsensoren bieten die Möglichkeit der nichtinvasiven Messung von chemischen und Prozessgeräten.⁶ Lambwellen ähneln Longitudinalwellen mit Kompression und Verdünnung, sind aber durch die Platten- oder Plattenoberfläche begrenzt und verursachen einen Wellenleiter-Effekt.⁷

¹ DENSO. Innovative Technik für Pipelines. - [on-line] Verfügbar auf - URL: <https://www.gefahrgutforen.de/files/DENSO%20Densit%20Band%20AL%20Produktbeschreibung.pdf>

² Debrunner Acifer. - [on-line] Verfügbar auf - URL: <http://shop-da.dkh.ch/product.cfm?dim=566.127&sprache=d>

³ FLEXIM. - [on-line] Verfügbar auf - URL: <https://www.flexim.com/de/geraete/permanente-durchflussmesser-fuer-gase/fluxus-g809>

⁴ AQUIP. - [on-line] Verfügbar auf - URL: http://www.aquip.com.au/product_list/flexim-fluxus-g809-flow-meter/

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] Verfügbar auf - URL: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/ematlambwave.htm>

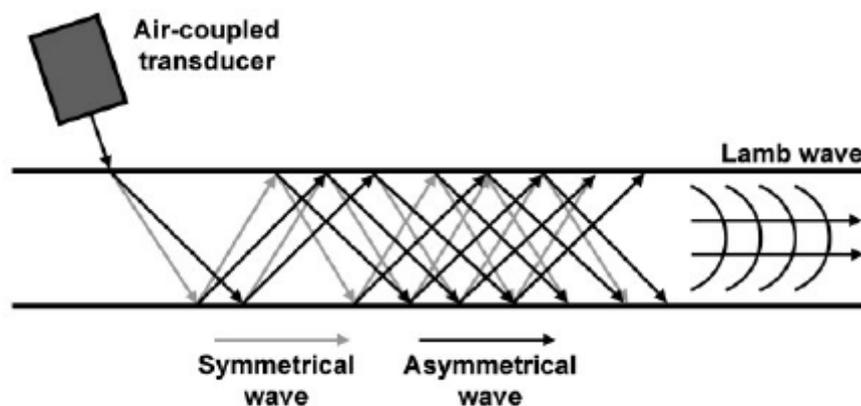


Abb 3 Lambwelletransport im Rohrwand.⁸

Es werden Ultraschallsignale verwendet, um mit Hilfe des Laufzeitdifferenzverfahrens den Durchfluss eines Mediums in einem Rohr zu messen. Ultraschallsignale werden von einem Sensor ausgesendet, der auf der Rohrleitung installiert ist, und von einem zweiten Sensor empfangen. Die Signale werden abwechselnd in und entgegen der Flussrichtung gesendet. Da das Medium, in dem sich der Ultraschall ausbreitet, fließt, ist die Laufzeit der Ultraschallsignale in Flussrichtung kürzer als entgegen der Flussrichtung. Die Laufzeitdifferenz Δt wird gemessen und erlaubt die Bestimmung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit auf dem von Ultraschallsignalen durchlaufenen Pfad. Durch eine Profilkorrektur kann das Flächenmittel der Strömungsgeschwindigkeit errechnet werden, das proportional zum Volumenstrom ist. Der gesamte Messzyklus wird durch die integrierten Mikroprozessoren gesteuert. Die empfangenen Ultraschallsignale werden auf Verwendbarkeit für die Messung geprüft und ihre Verlässlichkeit bewertet. Störsignale werden eliminiert.⁹

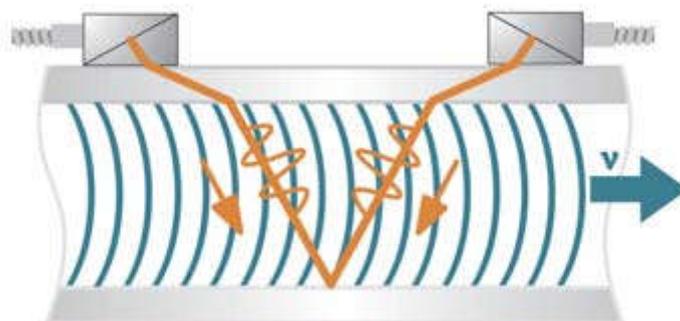


Abb 4 Prinzip der Ultraschall-Durchflussmessung.¹⁰

Messung - praktischer Teil

Auf dem vorbereiteten Messpunkt wurden Sensoren montiert. Ihre Positionierung hängt vom gemessenen Medium, der Rohrgeometrie und der Art der Sensoren selbst ab.

⁸Alleman, 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.

⁹FLEXIM. Technische Spezifikation FLUXUS G721. TSFLUXUS_G721V1-1DE_Leu, 2015-11-13 Stationäre Ultraschall-Durchflussmessung von Gasen. Interne Dokumentation der Firma FLEXIM GmbH. Seite 3.

¹⁰FLEXIM. Technische-spezifikation-fluxus-f601. - [on-line] Verfügbar auf - URL:<http://docplayer.org/38814309-Technische-spezifikation-fluxus-f601.html>



Abb 5 Installation von Ultraschallsensoren an der Rohrleitung.

Der G809 hat einen Algorithmus implementiert, um den Abstand zwischen den Sensoren zu berechnen und vorzuschlagen. Dies macht es dem Techniker leicht, die Sensoren mit der höchstmöglichen Genauigkeit zu platzieren und die mit der Berechnung verbundenen Fehler zu vermeiden. Die Sensoren werden über eine spezielle Konsole des Herstellers an der Rohrleitung montiert, was eine schnelle und genaue Installation der Sensoren ermöglicht. Die perfekte Passage der Ultraschallwellen in den Kanal verwendet eine Paste, die einen perfekten Kontakt zwischen der Oberfläche des Sensors und der Rohrleitung gewährleistet. Der G809 wurde gemäß Tabelle 1 konfiguriert.

Tab 1 Konfiguration des G809 Durchflussmessers basierend auf der Geometrie des gemessenen Punktes und des Mediums.

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
Cutofflow +	m/s	0,05	0,05	n/a
Cutofflow -	m/s	0,05	0,05	n/a
Calibration		No (default)	No (default)	n/a
Slope factor		n/a	n/a	n/a



Die Messdaten sammeln den internen Datenlogger des Gerätes und mit dem Computer und dem entsprechenden Programm ist es möglich, die Messdaten zusammen mit der kontinuierlichen Messdiagnose auf dem Computer zu speichern und weiter zu bewerten. Die gemessenen Daten sind in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2 Gemessene Erdgasdurchflussdaten mit kontinuierlicher Diagnostik.

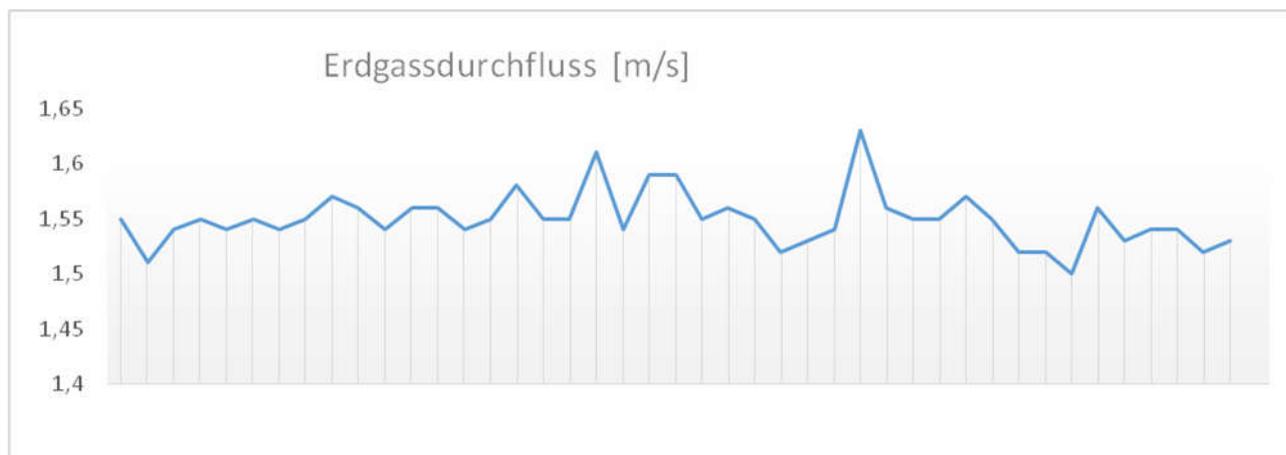
	Flow velocity	Sound speed	Amplitude	Quality	SCN R	SNR	Vari.amplitude	Vari.time	Gain	Volume flow
	m/s	m/s	%	%	dB	dB	%	%	dB	m ³ /h
9:02	1,56	451,1	45,00%	80,00%	30,00	30,00	3,00%	0,00%	80,85	85,35
9:03	1,55	451,1	44,00%	92,00%	27,00	30,00	3,00%	0,00%	82,32	90,02
9:04	1,51	451,0	44,00%	92,00%	28,00	30,00	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



Nástroje environmentálnej politiky ■ Environmental policy tools '2017

Recenzovaný zborník zo VII. medzinárodnej vedeckej konferencie, 5. máj 2017, Bratislava
Proceedings of the 7th International Conference, Bratislava, May 5, 2017
 Žilina: Strix et SSZP, Edition ESE-35, ISBN 978-80-89753-18-5

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 Grafische Darstellung der Gasflussgeschwindigkeit am Messpunkt.

Statistische Auswertung der Erdgas-Durchflussmessung

Sample Standard Deviation, s	0.024304272760537
Variance (Sample Standard), s^2	0.0005906976744186
Population Standard Deviation, σ	0.024026500520732
Variance (Population Standard), σ^2	0.00057727272727273
Total Numbers, N	44
Summe:	68.2
Mean (Average):	1.55
Standard Error of the Mean ($SE_{\bar{x}}$):	0.0036640069795072

Epilog

Die Messung jeder Größenordnung durch eine nicht-invasive Methode ist vom Standpunkt der Sicherheit aus am besten für Medien geeignet welche toxisch oder explosiv sind oder ein anderes Risiko darstellen. In-situ-Messungen sind jedoch sehr genau, da sie in direktem Kontakt mit dem gemessenen Medium stehen. Die Ultraschallmessung erfordert sehr komplizierte Algorithmen, um die bei dieser Methode auftretenden Störungen zu eliminieren. Die Verwendung von Ultraschall wird auch zuverlässig verwendet, beispielsweise im Falle der Messung der Konzentration von Säuren und anderen Medien, wo üblicherweise Refraktometer verwendet werden. Das Refraktometer ist ein sehr genaues, aber invasives Verfahren jedoch kann es bei hohen Mediendrücken oder Druckstößen zu Schäden an Dichtungen kommen und infolge dessen zu einem Austritt des Mediums aus den Rohrleitungen.

Die praktische Anwendung von G809 hat gezeigt, dass die Verwendung einer Schicht Dämpfungsmaterials unzureichend ist und die Messung zwei Schichten erfordert. Es zeigte ein niedriges Signal zu Rausch-Signal.

Das verwendete G809-Instrument hat eine hohe Stabilität aufgrund der thermischen Kompensation der Sensoren, wenn zum Beispiel ein Sensor sich auf der Sonnenseite und der andere Sensor sich auf der Schattenseite befindet so wird die daraus resultierende Temperaturdifferenz von dem Gerät kompensiert und eine genaue Messung garantiert. Messstofffluss und Druck waren während der Messung technologisch stabilisiert und zeigten keine Schwankungen. Bei starken Strömungsschwankungen kann ein elektronischer Filter verwendet werden, um die gemessenen Daten zu glätten. Die resultierende gemessene Durchflussrate entspricht den technologischen Berechnungen, erfüllt die betrieblichen Anforderungen und kann konventionelle In-situ-Durchflussmesser mit Stabilitäts- und Zuverlässigkeitsgarantien ersetzen.



AUTHORS ADDRESS

Ing. Ján IĽKO, EUR-ING

- Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology, Trnava, Slovak Republic
- Flexim, GmbH, Olbendorf, Republik Österreich

Assoc. prof. RNDr. Miroslav Rusko, PhD.

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology, Trnava, Slovak Republic
e-mail: mirorusko@centrum.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.