



MERANIE PRIETOKU STLAČENÉHO VZDUCHU ULTRAZVUKOVOU METODOU V ZÁVODE O-I DUBÍ

Ivan ŠAFRÁNEK - David KAMARÝT - JÁN IĽKO - Miroslav RUSKO

COMPRESSED AIR FLOW MEASUREMENT BY ULTRASONIC METHOD IN O-I DUBI PRODUCTION PLANT



ENVIRONMENTAL POLICY TOOLS '2020

ABSTRAKT

Následujúci článok pojednáva o integrácii merania prietoku stlačeného vzduchu neinvazívnou metódou merania pomocou ultrazvuku na kompresorovej stanici výrobného závodu OI Dubí v Českej republike. Meranie bolo inštalované za účelom riadenia sekvencie kompresorov. Pred integráciou stacionárneho ultrazvukového prietokomera bolo vykonané meranie prenosným tiež ultrazvukovým meračom prietoku pre zistenie prevádzkových parametrov média a zvolenie optimálneho bodu merania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: Stlačený vzduch, neinvazívne meranie, ultrazvuk, prietok, energia, riadenie

ABSTRAKT

Der folgende Artikel befasst sich mit der Integration der Druckluftstrommessung durch eine nicht-invasive Messmethode mit Ultraschall an der Kompressorstation der OI Dubí-Produktionsanlage in der Tschechischen Republik. Die Messung wurde installiert, um die Kompressorsequenz zu steuern. Vor der Integration des stationären Ultraschall-Durchflussmessers wurde die Messung mit einem portablen Ultraschall-Durchflussmesser durchgeführt, um die Betriebsparameter des Mediums zu bestimmen und den optimalen Messpunkt auszuwählen.

SCHLÜSSELWÖRTER: Druckluft, nicht-invasive Messung, Ultraschall, Durchfluss, Energie, Kontrolle

ABSTRACT

The following article deals with the integration of compressed air flow measurement through a non-invasive measurement method using ultrasound at the compressor station of the OI Dubí production facility in the Czech Republic. The measurement was installed to control the compressor sequence. Before the integration of the stationary ultrasonic flow meter, the measurement was carried out with a portable ultrasonic flow meter in order to determine the operating parameters of the medium and to select the optimal measuring point.

KEYWORDS: compressed air, non-invasive measurement, ultrasound, flow, energy, control

Úvod

Stlačený vzduch je technologické médium s vysokou energetickou náročnosťou na jeho získanie. Meranie prietoku stlačeného vzduchu poskytuje okamžitú informáciu o jeho spotrebe a z dlhodobého hľadiska je dôležité pre energetické a finančné bilancie v rámci podnikového manažmentu. Existuje niekoľko možností merania prietoku tohoto média avšak využitie ultrazvuku predstavuje ideálne riešenie, nakoľko meranie je vykonávané neinvazívne, vykazuje vysokú presnosť v závislosti od podmienok merania a významnú úlohu hrá flexibilita, nakoľko je meraný bod možné meniť, ak to technologické možnosti prevádzky dovoľujú.



Ciel a účel merania

- Meranie prietoku hlavného prívodu stlačeného vzduchu 0,4MPa do závodu,
- náhrada zásuvného termického meradla, ktoré po výmene potrubia pri GO 2016/2017 ukazovalo nespoľahlivé a nestabilné výsledky.

Procesné potrubie a médium

Meranie je nainštalované na hlavný prívod stlačeného vzduchu do technológie závodu o tlaku 0,4 Mpa. Parametre potrubia sú nasledovné:

- Vonkajší priemer 324mm,
- hrúbka steny 3mm,
- materiál potrubia AISI 314L = austenitická ocel Cr/Ni 18/10.

Parametre procesného média priamo za sušičkou vzduchu sú nasledovné:

- $p = 0,4 - 0,43$ Mpa,
- $t = 23 - 27$ °C,
- tlakový rosný bod $1 - 4$ °C,
- neustálené, turbulentné prúdenie v mieste merania, len 3m dlhý priamy úsek potrubia, vpredu a za ním koleno 90° a „T“ 90°.

Požiadavky na meranie

Kritéria pre výber monitora prietoku stlačeného vzduchu boli zvolené nasledovne:

- Spustenie merania do prevádzky bez prerušenia výroby stlačeného vzduchu,
- on-line korekcia na teplotu a tlak (regulácia výkonu kompresorov je daná tlakom v potrubí v rozsahu (0,40 -0,43)MPa,
- výstup z monitora prietoku do riadiaceho systému kompresorov,
- pneudoprava surovín je riadená/spúšťaná len v prípade dostatečnej rezervy množstva vzduchu,
- online výpočet a monitoring efektivity výroby vzduchu - kWh/Nm³.

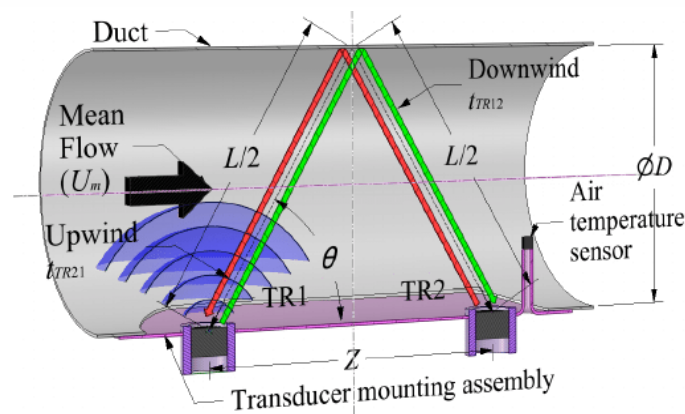
Meranie prietoku ultrazvukom

Veľkou výhodou tejto metódy je rýchla odozva aj skutočnosť, že ultrazvukové monitory umožňujú meranie zvonku - takzvaný clamp on system.¹ Princíp tohto merania je znázornený na obrázku 1.

Princíp je jasne popísaný vo videu na nasledujúcom odkaze:

<https://www.youtube.com/embed/A2zSrgZfVD8?rel=0&controls=2&showinfo=0&autoplay=1>

¹HALPER, Christian - IEKO, Ján - RUSKO, Miroslav. Application of ultrasonic method for measuring the sound velocity in a medium to determine the temperature change and fluctuations. In *Annals of DAAAM 2018: Volume 29, No. 1. The 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Zadar, Croatia, 21. - 28. 10. 2018.* 1. vyd. Vienna : DAAAM International, 2018, S. 0687-0697. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-21-1.



Obr. 1 Princíp merania ultrazvukového monitora prietoku²

Výber typu meracieho zariadenia

Prenosný prietokomer plynu je možné aplikovať na vnútorné priemery potrubia v rozmedzí od 6 mm do 2100 mm (bez obmedzenia hrúbky steny potrubia alebo materiálu) a pri teplotách média od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Merací systém je navyše nezávislý na tlaku vo vnútri potrubia. S dvoma meracími kanálmi možno prenosný prietokomer plynu FLUXUS G601 použiť aj na náročné meracie body a nie je úplne ovplyvnený hustotou, viskozitou a zložením plynu, ako aj teplotou a tlakom. Možno merať dokonca aj mokrý plyn až do frakcie kvapalného objemu 5 %.³

Zadefinovanie vstupných dát pre výber a špecifikáciu prietokomera

Ako základné vstupné údaje je dôležité vedieť:

- Druh meraného média,
- materiál potrubia,
- geometria potrubia – priemer a hrúbka steny,
- približná teplota média.

V prípade merania plynného média na kovových potrubíach je potrebné na povrch rúry nalepiť tlmiacu fóliu, prvok absorbujúci zvukovú energiu pripevnený k danému potrubiu aspoň v mieste medzi prvým a druhým senzorom a ktorý prijíma a rozptyľuje ultrazvukovú energiu, ktorá sa šíri cez stenu uvedeného potrubia z od prvého do druhého meniča, pričom uvedený prvok absorbujúci zvukovú energiu obsahuje viskózný materiál tlmiaci zvukovú energiu.⁴ Tlmiaci kompozit je vytvorený z dvoch kovových vrstiev oddelených oveľa tenšou viskoelastickou vrstvou, ktorá má počiatočnú hrúbku najmenej 1 mm.⁵ V závislosti od danej situácie tieto redukcie nie sú iba za účelom zmenšenia amplitúdy, ale aj zmeny tvarov a frekvencií vibrácií.⁶

Realizácia skúšobného merania

Najprv sa uskutočnilo testovacie meranie prietoku na mapovanie procesných podmienok média. Na tento účel bol použitý prenosný monitor prietoku G601 Flexim, znázornený na obrázku 2.

²RAINE, Andrew &ASLAM, Nauman &UNDERWOOD, Christopher &DANAHER, Sean. (2015). Development of an Ultrasonic Airflow Measurement Device for Ducted Air. Sensors. 15. 10705-10722. 10.3390/s150510705. ISSN 1424-8220

³FLEXIM. The Portable Gas flow meter. - [on-line] available on URL: <https://www.flexim.com/en/products/portable-flowmeters-gases/fluxus-g601>

⁴BAUMOEL, Joseph. *Mounting structure for transducers with sonic-energy absorbing means*. U.S. Patent No 5,131,278, 1992.

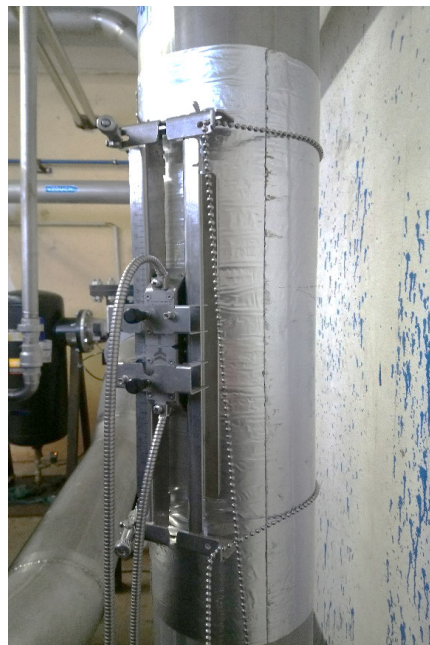
⁵HANSEN, Richard M.; VYDRA, Edward J. *Method of forming noise-damping material with ultra-thin viscoelastic layer*. U.S. Patent No 6,202,462, 2001.

⁶WODTKE, H.-W.; LAMANCUSA, J. S. Sound power minimization of circular plates through damping layer placement. *Journal of Sound and vibration*, 1998, 215.5: 1145-1163. ISSN. 0022-460X



Obr. 2 Prenosný ultrazvukový prietokomer FLEXIM G601 ⁷

Meranie bolo vykonané na dvoch bodoch kompresorovej stanice. Prvé meranie na vertikálnom potrubí pri procesnom tlaku 6 bar(a) a druhé na horizontálnom potrubí pri tlaku 4 bar(g).



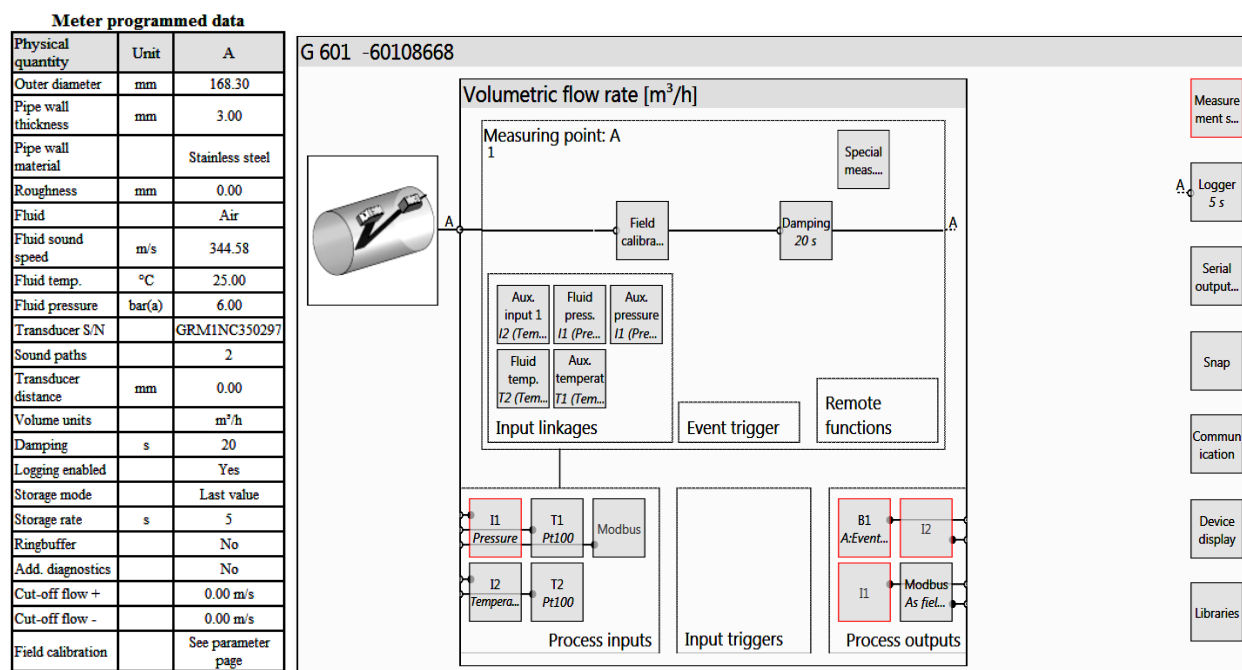
Obr. 3 Meranie č. 1 prietoku na vertikálnom potrubí 6 bar a č. 2 na horizontálnom 4 bar

⁷FLEXIM. Das portable Durchflussmessgerät für Gase. - [on-line] available on
URL:<https://www.flexim.com/de/produkte/portable-durchflussmesser-fuer-gase/fluxus-g601>



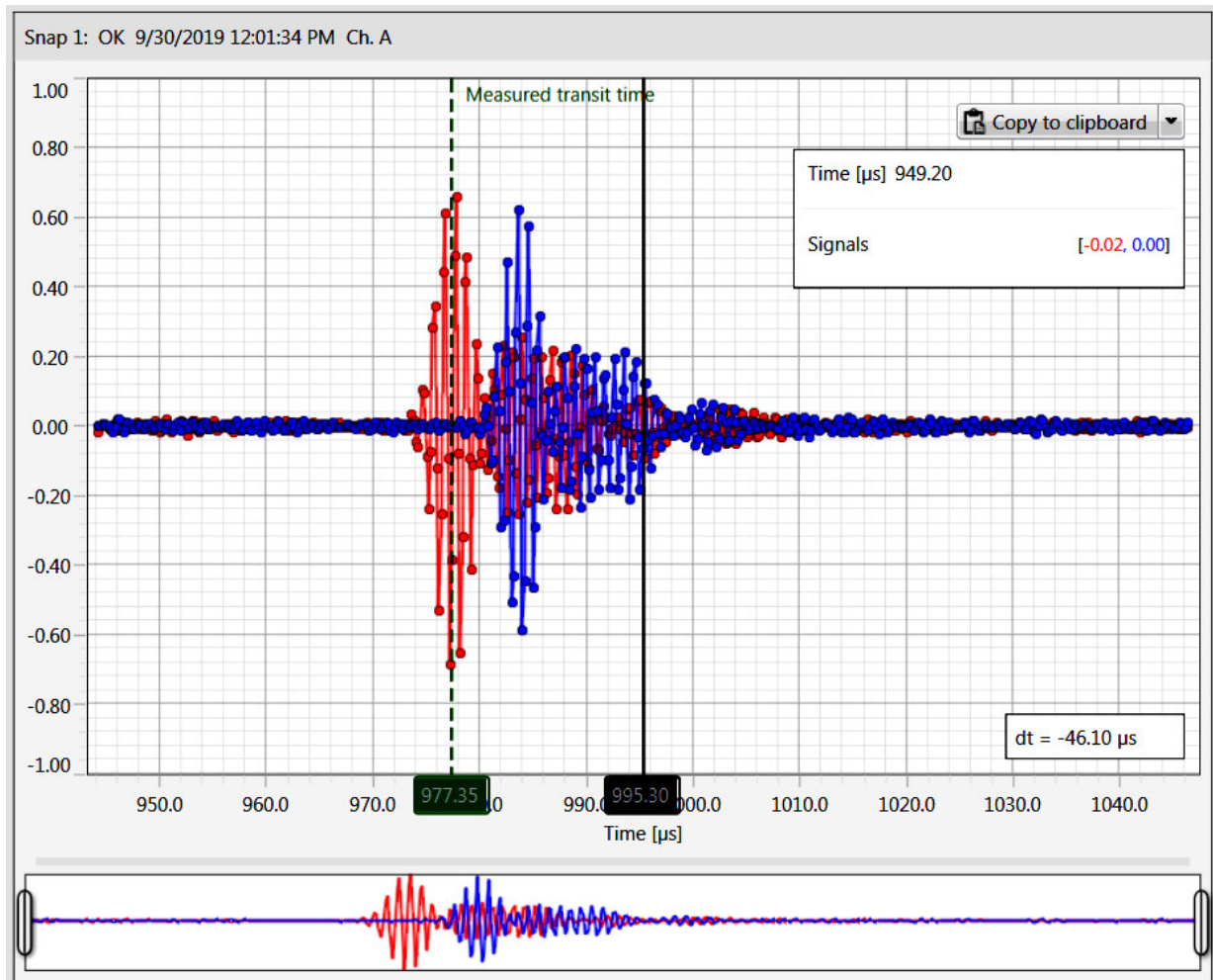
Meranie na bode č. 1

Pre meranie na prvom bode bol na základe procesných parametrov ultrazvukový prietokomer nastavený nasledovne:



Obr. 4 Nastavenie prietokomera FLUXUS G601 pre meraný bod č. 1

Ultrazvukový prietokomer má funkciu snímania obrazu zvuku, tzv. Snap, a pomocou počítača a príslušného softvéru FluxDiag jeho zobrazenie. Táto funkcia umožňuje obsluhu určiť kvalitu signálu a iné technické parametre prebiehajúceho merania. Obraz merania bodu 1 je zobrazený na nasledujúcom obrázku.



Obr. 5 Obráz (SNAP) ultrazvukového signálu na bode 1 pre diagnostiku merania.

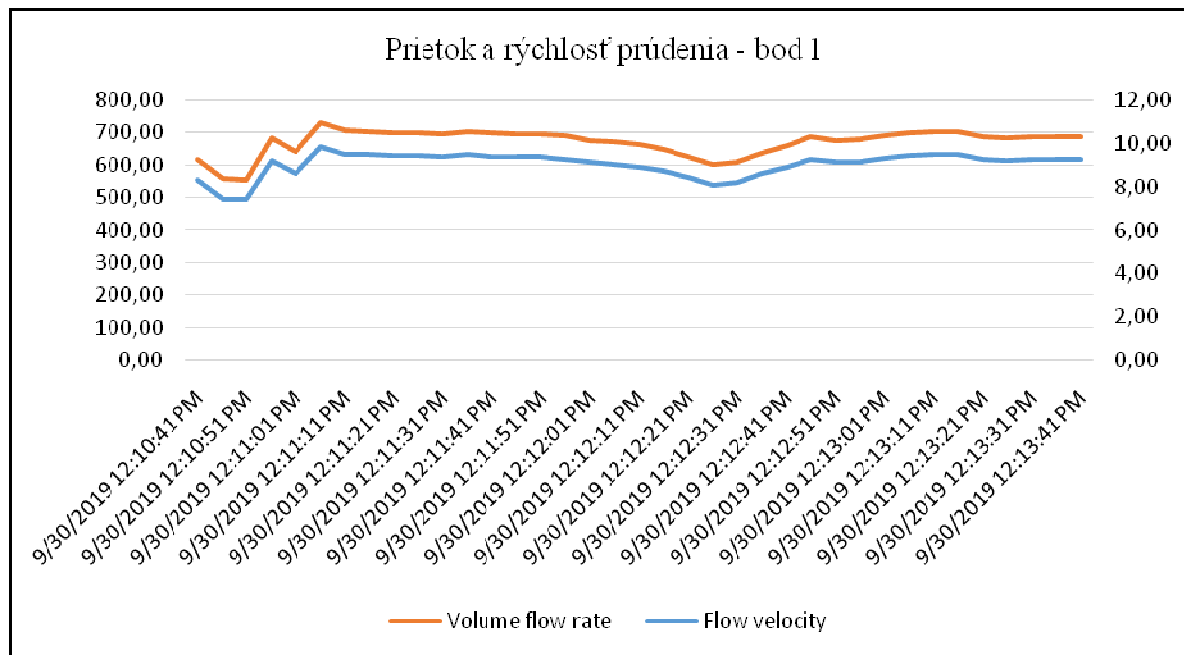
Prístroj FLUXUS F601 disponuje vnútorným dataloggerom s kapacitou 250000 meracích bodov. Je možné zadať odčítanie buď okamžitej alebo priemerovanej hodnoty. Uložené hodnoty prietoku na bode 1 sú uvedené v tabuľke 1.



Tabuľka 1 Namerané hodnoty prietoku na bode 1

Date and time	Flow velocity	Volume flow rate
	[m/s]	[m ³ /h]
9/30/2019 12:10:41 PM	8,30	618,17
9/30/2019 12:10:46 PM	7,46	555,61
9/30/2019 12:10:51 PM	7,43	553,52
9/30/2019 12:10:56 PM	9,21	685,72
9/30/2019 12:11:01 PM	8,60	640,29
9/30/2019 12:11:06 PM	9,82	731,53
9/30/2019 12:11:11 PM	9,49	706,50
9/30/2019 12:11:16 PM	9,48	705,68
9/30/2019 12:11:21 PM	9,42	701,81
9/30/2019 12:11:26 PM	9,39	699,20
9/30/2019 12:11:31 PM	9,35	696,15
9/30/2019 12:11:36 PM	9,46	704,71
9/30/2019 12:11:41 PM	9,38	698,38
9/30/2019 12:11:46 PM	9,36	697,19
9/30/2019 12:11:51 PM	9,34	695,92
9/30/2019 12:11:56 PM	9,27	690,19
9/30/2019 12:12:01 PM	9,10	677,45
9/30/2019 12:12:06 PM	9,03	672,39
9/30/2019 12:12:11 PM	8,90	662,56
9/30/2019 12:12:16 PM	8,73	650,27
9/30/2019 12:12:21 PM	8,40	625,77
9/30/2019 12:12:26 PM	8,06	600,67
9/30/2019 12:12:31 PM	8,18	609,16
9/30/2019 12:12:36 PM	8,57	638,28
9/30/2019 12:12:41 PM	8,87	660,85
9/30/2019 12:12:46 PM	9,25	689,07
9/30/2019 12:12:51 PM	9,10	677,38
9/30/2019 12:12:56 PM	9,12	679,32
9/30/2019 12:13:01 PM	9,32	693,91
9/30/2019 12:13:06 PM	9,41	700,54
9/30/2019 12:13:11 PM	9,45	703,67
9/30/2019 12:13:16 PM	9,46	704,27
9/30/2019 12:13:21 PM	9,24	688,40
9/30/2019 12:13:26 PM	9,19	684,83
9/30/2019 12:13:31 PM	9,24	688,33
9/30/2019 12:13:36 PM	9,23	687,14
9/30/2019 12:13:41 PM	9,24	688,48

Grafické vyjadrenie nameraných hodnôt bodu 1 je v grafe 1. Červená línia zobrazuje priebeh prietoku v m³.h⁻¹, modrá línia zobrazuje priebeh rýchlosti prúdenia v m.s⁻¹.



Graf 1 Prietok a rýchlosť prúdenia stlačeného vzduchu na bode 1

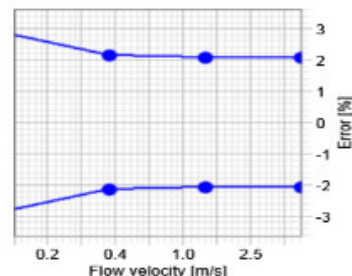
Pre vyhodnotenie presnosti merania má program FluxDiag integrovanú funkciu „Uncertainty“ a dokáže vypočítať chybu a opakovateľnosť merania spolu s grafickým vyobrazením, ako je ukázané na nasledujúcom obrázku.



Total uncertainty over flow velocity

Standard Uncertainty			Sensit.- Factors	Flow velocities \bar{v}_i [m/s]			
Formula	Source	Value		0.1	0.4	1.4	5.0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V}$	$\left \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{pe})$	flow profile	0.30%	1	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%
$u(A)$	cross sectional area	0.23%	1	0.23%	0.23%	0.23%	0.23%
$u(K_a)$	acoustic calib. factor	0.97%	1	0.97%	0.97%	0.97%	0.97%
$u(\Delta t)$	time difference [s]	3.00E-10	1	0.93%	0.25%	0.07%	0.02%
$u(t_0)$	delay time	0.32%	0.05	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
$u(t_p)$	transit time	0.02%	-1	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
Standard uncertainty			$\frac{u(V)}{V} =$	1.40%	1.07%	1.05%	1.04%
expanded uncertainty k=2 (95%)				2.79%	2.15%	2.09%	2.09%

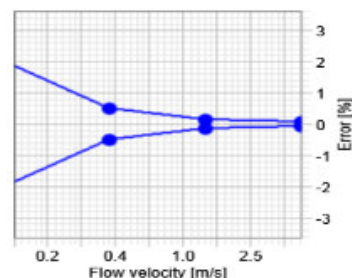
$$\frac{u(V)}{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right|^2}$$



Repeatability

Standard Uncertainty			Sensit.- Factors	Flow velocities \bar{v}_i [m/s]			
Formula	Source	Value		0.1	0.4	1.4	5.0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V}$	$\left \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{pe})$	flow profile		1				
$u(A)$	cross sectional area		1				
$u(K_a)$	acoustic calib. factor		1				
$u(\Delta t)$	time difference [s]	3.00E-10	1	0.93%	0.25%	0.07%	0.02%
$u(t_0)$	delay time		0.05				
$u(t_p)$	transit time	0.02%	-1	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
Standard uncertainty			$\frac{u(V)}{V} =$	0.93%	0.25%	0.07%	0.03%
expanded uncertainty k=2 (95%)				1.85%	0.50%	0.14%	0.05%

$$\frac{u(V)}{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right|^2}$$



Obr. 6 Stanovenie neistoty merania programom FLEXIM FluxDiag

Meranie na bode č. 2 pri procesnom tlaku 4 bar(g)

Pre meranie na druhom bode bol ultrazvukový prietokomer nastavený na základe procesných parametrov pre daný bod ako je ukázané na obr. 7.

Opäť bol odsnímaný obraz signálu pre ďalšiu diagnostiku – obr. 8. Uložené hodnoty prietoku na bode 2 sú uvedené v tabuľke 2.



Meter programmed data

Physical quantity	Unit	A
Outer diameter	mm	323.90
Pipe wall thickness	mm	3.00
Pipe wall material		Stainless steel
Roughness	mm	0.00
Fluid		Air
Fluid sound speed	m/s	344.37
Fluid temp.	°C	25.00
Fluid pressure	bar(a)	5.00
Transducer S/N		GRM1NC350297
Sound paths		1
Transducer distance	mm	-6.70
Volume units		m ³ /h
Damping	s	20
Logging enabled		Yes
Storage mode		Last value
Storage rate	s	5
Ringbuffer		No
Add. diagnostics		No
Cut-off flow +	m/s	0.00
Cut-off flow -	m/s	0.00
Field calibration		See parameter page

G 601 -60108668

Volumetric flow rate [m³/h]
Measuring point: A2

Field calibra... Damping 20 s

Input linkages: Aux. input 1 I2 (Tem...), Fluid press. I1 (Pre...), Aux. pressure I1 (Pre...), Fluid temp. T2 (Tem...), Aux. temperatur T1 (Tem...)

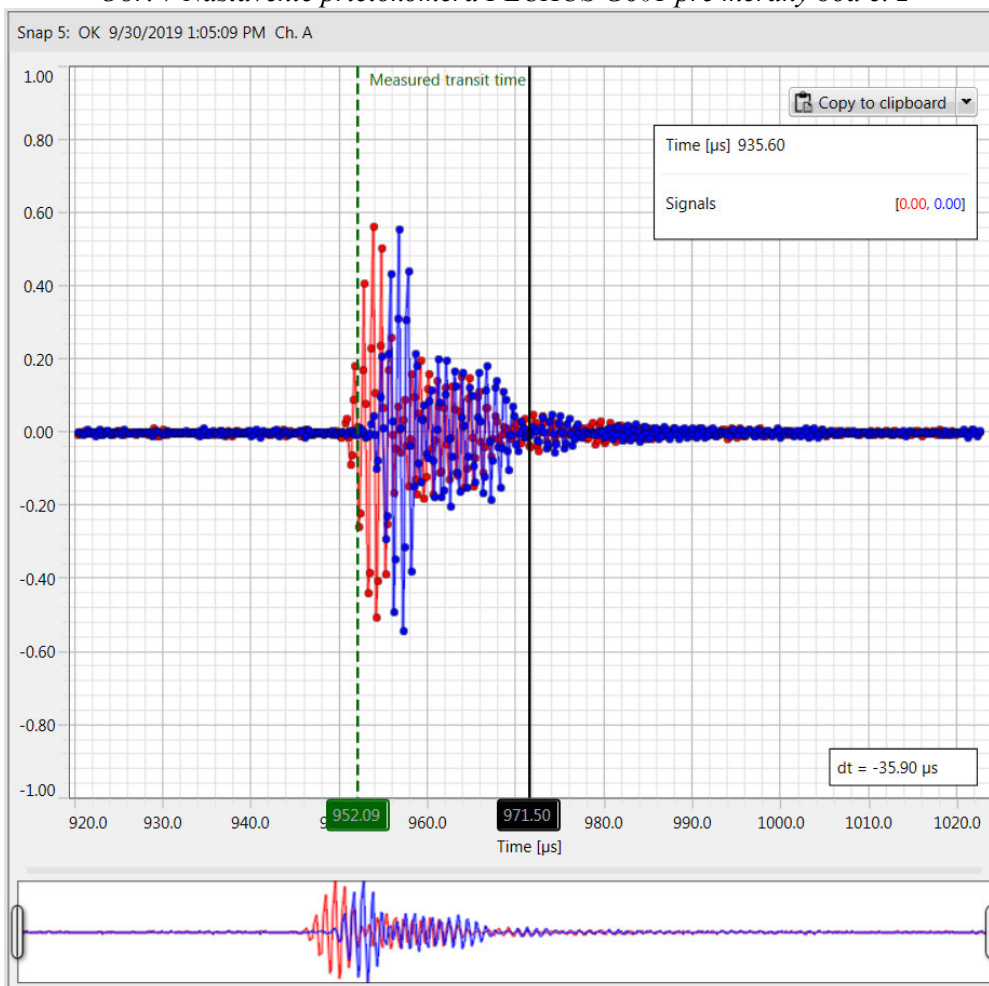
Process inputs: I1 Pressure, T1 Pt100, I2 Tempera..., T2 Pt100

Process outputs: B1 A-Event..., I2, I1, Modbus As fiel...

Event trigger, Remote functions, Modbus

Measurement s...
Logger 5 s
Serial output...
Snap
Communication
Device display
Libraries

Obr. 7 Nastavenie prietokomera FLUXUS G601 pre meraný bod č. 2



Obr. 8 Obráz (SNAP) ultrazvukového signálu na bode 2 pre diagnostiku merania.



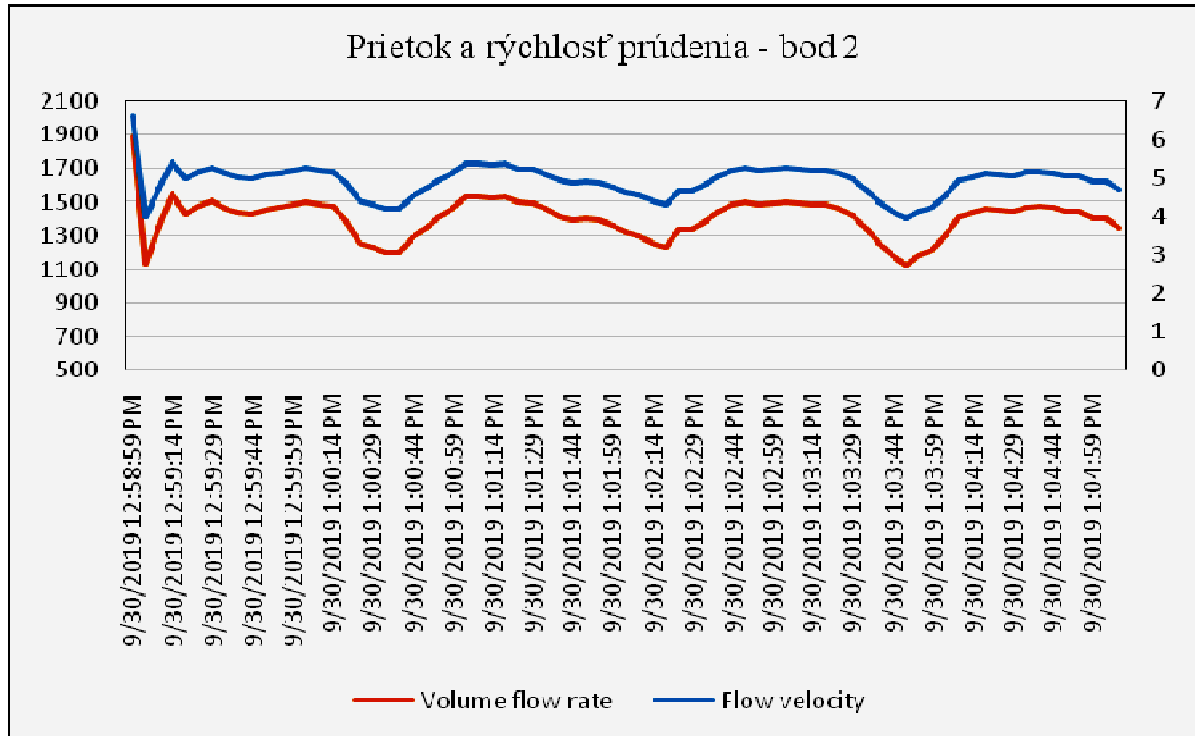
Tabuľka 2 Namerané hodnoty prietoku na bode 2

Date and time	Flow velocity	Volume flow rate
	[m/s]	[m ³ /h]
9/30/2019 12:58:59 PM	6,61	1889,04
9/30/2019 12:59:04 PM	3,98	1136,39
9/30/2019 12:59:09 PM	4,74	1355,56
9/30/2019 12:59:14 PM	5,41	1547,00
9/30/2019 12:59:19 PM	5,00	1429,57
9/30/2019 12:59:24 PM	5,17	1477,28
9/30/2019 12:59:29 PM	5,27	1505,57
9/30/2019 12:59:34 PM	5,11	1461,28
9/30/2019 12:59:39 PM	5,03	1436,42
9/30/2019 12:59:44 PM	5,00	1429,85
9/30/2019 12:59:49 PM	5,08	1452,14
9/30/2019 12:59:54 PM	5,14	1467,28
9/30/2019 12:59:59 PM	5,20	1484,43
9/30/2019 1:00:04 PM	5,26	1503,57
9/30/2019 1:00:09 PM	5,21	1488,14
9/30/2019 1:00:14 PM	5,15	1472,43
9/30/2019 1:00:19 PM	4,86	1387,85
9/30/2019 1:00:24 PM	4,41	1259,26
9/30/2019 1:00:29 PM	4,32	1234,40
9/30/2019 1:00:34 PM	4,20	1201,26
9/30/2019 1:00:39 PM	4,20	1200,11
9/30/2019 1:00:44 PM	4,51	1287,84
9/30/2019 1:00:49 PM	4,72	1349,27
9/30/2019 1:00:54 PM	4,94	1411,28
9/30/2019 1:00:59 PM	5,11	1460,71
9/30/2019 1:01:04 PM	5,36	1530,43
9/30/2019 1:01:09 PM	5,38	1537,00
9/30/2019 1:01:14 PM	5,33	1523,86
9/30/2019 1:01:19 PM	5,38	1536,72
9/30/2019 1:01:24 PM	5,25	1499,86
9/30/2019 1:01:29 PM	5,23	1495,29
9/30/2019 1:01:34 PM	5,10	1456,71
9/30/2019 1:01:39 PM	4,93	1407,28
9/30/2019 1:01:44 PM	4,88	1395,28
9/30/2019 1:01:49 PM	4,92	1406,13
9/30/2019 1:01:54 PM	4,89	1396,99
9/30/2019 1:01:59 PM	4,78	1365,56
9/30/2019 1:02:04 PM	4,63	1322,41
9/30/2019 1:02:09 PM	4,54	1296,12
9/30/2019 1:02:14 PM	4,40	1256,98
9/30/2019 1:02:19 PM	4,32	1234,69
9/30/2019 1:02:24 PM	4,68	1335,84
9/30/2019 1:02:29 PM	4,67	1333,84
9/30/2019 1:02:34 PM	4,84	1382,99
9/30/2019 1:02:39 PM	5,05	1441,57
9/30/2019 1:02:44 PM	5,20	1486,71
9/30/2019 1:02:49 PM	5,26	1502,43
9/30/2019 1:02:54 PM	5,20	1485,86
9/30/2019 1:02:59 PM	5,24	1495,86
9/30/2019 1:03:04 PM	5,26	1503,86
9/30/2019 1:03:09 PM	5,22	1491,57
9/30/2019 1:03:14 PM	5,21	1488,14
9/30/2019 1:03:19 PM	5,19	1482,43
9/30/2019 1:03:24 PM	5,11	1459,00
9/30/2019 1:03:29 PM	4,98	1421,85
9/30/2019 1:03:34 PM	4,71	1346,99
9/30/2019 1:03:39 PM	4,39	1252,98
9/30/2019 1:03:44 PM	4,13	1180,11
9/30/2019 1:03:49 PM	3,94	1124,68
9/30/2019 1:03:54 PM	4,13	1180,11
9/30/2019 1:03:59 PM	4,25	1213,26
9/30/2019 1:04:04 PM	4,57	1305,27
9/30/2019 1:04:09 PM	4,95	1414,99
9/30/2019 1:04:14 PM	5,02	1435,28
9/30/2019 1:04:19 PM	5,11	1460,71
9/30/2019 1:04:24 PM	5,08	1451,57
9/30/2019 1:04:29 PM	5,04	1441,28
9/30/2019 1:04:34 PM	5,15	1471,57
9/30/2019 1:04:39 PM	5,17	1477,86
9/30/2019 1:04:44 PM	5,14	1469,00
9/30/2019 1:04:49 PM	5,05	1441,57
9/30/2019 1:04:54 PM	5,06	1446,14
9/30/2019 1:04:59 PM	4,92	1406,13
9/30/2019 1:05:04 PM	4,90	1398,99
9/30/2019 1:05:09 PM	4,70	1343,84



Grafické vyjadrenie nameraných hodnôt bodu 2 je v grafe 2.

Červená línia zobrazuje priebeh prietoku v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, modrá línia zobrazuje priebeh rýchlosti prúdenia v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Graf 2 Prietok a rýchlosť prúdenia stlačeného vzduchu na bode 2

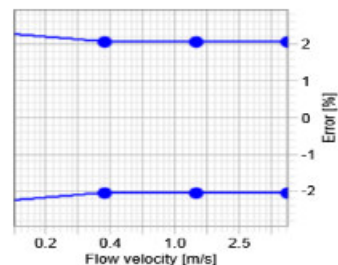
Presnosť merania je zobrazená na protokole vygenerovanom programom FluxDiag na nasledujúcom obrázku.



Total uncertainty over flow velocity

Standard Uncertainty			Sensit.- Factors	Flow velocities $\bar{v}_i [m/s]$			
Formula	Source	Value		0.1	0.4	1.4	5.0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V}$	$\left \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{re})$	flow profile	0.30%	1	0.30%	0.30%	0.30%	0.30%
$u(A)$	cross sectional area	0.13%	1	0.13%	0.13%	0.13%	0.13%
$u(K_a)$	acoustic calib. factor	0.97%	1	0.97%	0.97%	0.97%	0.97%
$u(\Delta t)$	time difference [s]	3.00E-10	1	0.47%	0.13%	0.03%	0.01%
$u(t_d)$	delay time	0.32%	0.03	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
$u(t_p)$	transit time	0.01%	-1	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
Standard uncertainty			$\frac{u(V)}{V} =$	1.13%	1.03%	1.03%	1.03%
expanded uncertainty k=2 (95%)				2.26%	2.07%	2.05%	2.05%

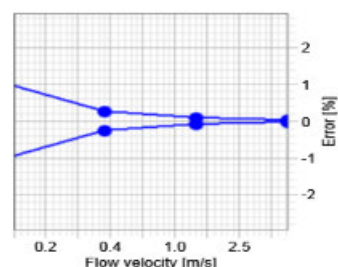
$$\frac{u(V)}{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right|^2}$$



Repeatability

Standard Uncertainty			Sensit.- Factors	Flow velocities $\bar{v}_i [m/s]$			
Formula	Source	Value		0.1	0.4	1.4	5.0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V}$	$\left \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{re})$	flow profile		1				
$u(A)$	cross sectional area		1				
$u(K_a)$	acoustic calib. factor		1				
$u(\Delta t)$	time difference [s]	3.00E-10	1	0.47%	0.13%	0.03%	0.01%
$u(t_d)$	delay time		0.03				
$u(t_p)$	transit time	0.01%	-1	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
Standard uncertainty			$\frac{u(V)}{V} =$	0.47%	0.13%	0.04%	0.01%
expanded uncertainty k=2 (95%)				0.95%	0.26%	0.07%	0.03%

$$\frac{u(V)}{V} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left| \frac{dV}{dx_i} \frac{x_i}{V} \frac{u(x_i)}{x_i} \right|^2}$$



Obr. 9 Stanovenie neistoty merania č. 2 programom FLEXIM FluxDiag

Diskusia

Spotreba vzduchu závodu opakovane nastavená na nominálne maximum 1 kompresora ROW600 (konštantný prietok vzduchu po dobu 10 minút) a potom na maximum 2x kompresorov ROW 600 (takmer konštantný, 2x väčší prietok vzduchu). Mierne nárasty a poklesy tlaku v rozsahu 0,01 - 0,02 MPa boli patrné i na zmenách prietokov. Namerané hodnoty prietoku vzduchu boli stabilné a zodpovedaly predpokladom a predchádzajúcim skúsenostiam. Pri priamom porovnaní s kompresormi ROW300 (polovičný výkon než ROW600, merané termickým meradlom) dosahovali kompresory ROW600 presne dvojnásobného nominálneho prietoku. Namerané výsledky potvrdili vhodnosť daného typu monitora rýchlosti pre požadovaný druh procesného systému.

Záver

Meranie ultrazvukom umožňuje nasadenie do procesných aplikácií za špecifických podmienok. Výhodné je najmä z hľadiska BOZP, procesnej bezpečnosti, environmentálnej bezpečnosti a časovej nenáročnosti. Časovo náročná môže byť táto metóda pri veľmi špecifických podmienkach, ako sú napríklad krátke úseky medzi technickými prvkami ako napr. ventily, príruby, rozvojky a kolená. Pri aplikáciách s fluktuáciou kvalitatívnych parametrov ako napr. viskozita a teplota je niekedy potrebné pripojiť senzor merania teploty k prietokomeru. Tu sa naskytuje niekoľko možností. Najjednoduchšie je pripojenie clamp-on senzora, ktorý sa montuje na povrch potrubia a nenaruša integritu meraného bodu ale jeho odozva je pomalšia a rozdiel medzi skutočnou teplotou média



a meranou je väčší, čo vnáša nepresnosť do celkového merania prietoku. Avšak, prietokomery Flexim majú integrovanú funkciu kompenzácie teplotnej diferencie pre tento druh senzorov. Druhá možnosť je pripojenie in-situ senzora, čo však vyžaduje narušenie potrubia a úpravy. Možné je pripojenie externého signálu o teplote vo forme unifikovaného signálu. Prístroje tohto druhu sa vyrábajú ako prenosné s vlastným napájaním z vnútorného akumulátora ale aj ako stacionárne. V oboch prípadoch sa používajú clamp-on senzory a presunutie merania na iný technologický bod nie je ani mechanicky ani časovo náročné. Ako nevýhoda je vyššia cena ako pri invazívnych prietokomerach avšak výhody spomenuté vyššie často tento nedostatok kompenzujú a kladú tento druh meracích prístrojov na popredné miesta technologických meraní a významne zvyšujú komfort a bezpečnosť pri práci.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- BAUMOEL, Joseph. *Mounting structure for transducers with sonic-energy absorbing means*. U.S. Patent No 5,131,278, 1992.
- FLEXIM. Das portable Durchflussmessgerät für Gase. - [on-line] available on
URL:<https://www.flexim.com/de/produkte/portable-durchflussmesser-fuer-gase/fluxus-g601>
- FLEXIM. The Portable Gas flow meter. - [on-line] available on URL:
<https://www.flexim.com/en/products/portable-flowmeters-gases/fluxus-g601>
- HALPER, Christian - ILKO, Ján - RUSKO, Miroslav. Application of ultrasonic method for measuring the sound velocity in a medium to determine the temperature change and fluctuations. In *Annals of DAAAM 2018: Volume 29, No. 1. The 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Zadar, Croatia, 21. - 28. 10. 2018*. 1. vyd. Vienna : DAAAM International, 2018, S. 0687-0697. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-21-1.
- HANSEN, Richard M.; VYDRA, Edward J. *Method of forming noise-damping material with ultra-thin viscoelastic layer*. U.S. Patent No 6,202,462, 2001.
- Raine, Andrew & Aslam, Nauman & Underwood, Christopher & Danaher, Sean. (2015). Development of an Ultrasonic Airflow Measurement Device for Ducted Air. Sensors. 15. 10705-10722. 10.3390/s150510705. ISSN 1424-8220
- WODTKE, H.-W.; LAMANCUSA, J. S. Sound power minimization of circular plates through damping layer placement. *Journal of Sound and vibration*, 1998, 215.5: 1145-1163. ISSN. 0022-460X

ADRESY AUTOROV

Ivan Šafránek

O-I Czech Republic a.s., Dubí, Czech Republic

David Kamarýt

ECM Ecomonitoring a.s., Dobrá, Czech Republic

Ján Il'ko

Flexim GmbH, Olbendorf, Austria

Miroslav Rusko

Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Bratislava, Slovenská republika

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.