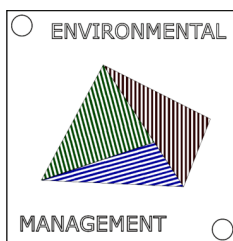


## MERANIE PRIETOKU ZEMNÉHO PLYNU PRI TLAKU 23 BAR NA METALICKOM IZOLOVANOM POTRUBÍ ULTRASONICKOU METÓDOU CLAMP-ON

Jiří MAČEJOVSKÝ - David KAMARÝT - Ján ILKO

## MEASUREMENT OF NATURAL GAS FLOW AT A PRESSURE OF 23 BAR ON A METALLIC INSULATED PIPE WITH ULTRASONIC CLAMP-ON METHOD



### **Abstrakt**

V štúdiu sa pojednáva o meraní prietoku zemného plynu pomocou ultrazvukovej metódy bez mechanického zásahu do potrubia a bez narušenia jeho povrchovej izolácie. Použité je stacionárne meracie zariadenie od firmy FLEXIM GmbH pod označením G721. Inštalácia meracieho systému je realizovaná v servisnej šachte pod úrovňou terénu na metalickom potrubí.

**Kľúčové slová:** Ultrazvuk, vysoký procesný tlak, neinvazívne meranie, zemný plyn

### **Abstrakt**

The study deals with the measurement of natural gas flow using the ultrasonic method without mechanical intervention in the pipeline and without disturbing its surface insulation. A stationary measuring device from FLEXIM GmbH type G721 is used. The measuring system is installed in a service shaft below ground level on a metal pipe.

**Key words:** Ultrasound, high process pressure, non-invasive measurement, natural gas

### **Úvod**

V praxi je často potrebné realizovať meranie kvalitatívnych aj kvantitatívnych technologických parametrov v ťažkých alebo sťažených podmienkach. Realizácia takýchto meraní často komplikuje aj dodržiavanie bezpečnostných kritérií a vyžaduje si aj náročnú techniku či už pre prípravu a úpravu daného miesta merania a jeho okolia ale aj pre realizáciu samotného merania.

V prípade invazívnych meraní je dôležité starostlivo vybrať bod zásahu do procesného potrubia aby narušenie integrity potrubia, resp. zariadenia bolo čo najmenšie a nespôsobovalo ohrozenie technologického procesu, plynulosť chodu a hlavne aby bola zohľadnená bezpečnosť práce.

Následujúca štúdia predstavuje popis realizácie merania prietoku zemného plynu pri procesnom absolútnom tlaku 23 bar. Meranie bolo realizované ultrazvukovým monitorom prietoku od firmy FLEXIM GmbH, ktorá už 30 rokov vyrába a dodáva ultrazvukovú techniku pre technologické merania na šličkovej úrovni.

## Transport zemného plynu

Na zber plynu z vrtov a na jeho prepravu do skladovacích priestorov a na hlavné trhy je potrebná rozsiahla sieť plynovodov.<sup>1</sup> Porušenie vysokotlakového plynovodu na zemný plyn môže viesť k následkom, ktoré môžu predstavovať významnú hrozbu pre ľudí a majetok v bezprostrednej blízkosti miesta poruchy.<sup>2</sup> Prepravné plynovody prepravujúce zemný plyn nie sú zvyčajne v bezpečných priemyselných areáloch, ale sú vedené po zemi mimo vlastníctva tranzitnej spoločnosti. Ak dôjde k náhodnému uvoľneniu a vznieteniu zemného plynu, je známe, že nebezpečná vzdialenosť spojená s týmito plynovodmi pre ľudí a majetok je v rozmedzí od menej ako 20 m pre menšie potrubie pri nižšom tlaku až do viac ako 300 m pre väčšie potrubie pri vyššom tlaku. Prevádzkovatelia potrubí a regulačné orgány sa preto musia zaoberať súvisiacimi otázkami verejnej bezpečnosti.<sup>3</sup>

## Meranie prietoku zemného plynu v praxi

Dôležitým medzníkom pre každý typ prietokomera je schválenie jeho používania samotným priemyslom. Vďaka jeho odobreniu si úspešne razia cestu na trhu ultrazvukové, turbínkové a prietokomery na princípe diferenčného tlaku. Na opačnom konci sa napríklad v USA nachádzajú vírové (vortex) prietokomery, ktoré sa prílišnej obľube netešia.<sup>4</sup>

## Clamp-on ultrazvukové meranie prietoku

Ultrazvukový prietokomer typu „upstream/downstream sonic propagation“ obsahuje dva meniče namontované externe na tej istej strane prietokového potrubia.<sup>5</sup> Keď sa ultrazvukové vlny šíria cez prúdiacu tekutinu, sú ultrazvukové vlny ovplyvňované prietokom kvapaliny, takže doba šírenia meraná, keď sú ultrazvukové vlny smerované z protiprúdovej strany na súhlasnú stranu prietoku kvapaliny, sa líši od doby nameranej pri smerovaní od druhej strany k protiprúdovej strane toku tekutiny. Pretože rozdiel v čase šírenia je v proporcionálnom vzťahu s rýchlosťou prúdenia kvapaliny, využíva ultrazvukový prietokomer tento vzťah na meranie rýchlosti prúdenia kvapaliny.<sup>6</sup>

Pre realizáciu merania bol použitý stacionárny ultrazvukový prietokomer FLUXUS G721. Tieto prietokomery sa vyznačujú odolnou robustnou konštrukciou v nerezovom alebo hliníkovom prevedení.

FLUXUS G721 je technologický prielom v ultrazvukovom meraní objemu a hmotnostného prietoku plynov. Vďaka svojmu novému hardvérovému dizajnu a vylepšenému a výkonnému digitálnemu spracovaniu signálu prekonáva akýkoľvek iný neinvazívny ultrazvukový prietokomer z hľadiska spoľahlivosti a všestrannosti.<sup>7</sup> Vďaka vysoko sofistikovaným signálnym filtrom, rýchlejšim procesným kapacitám a pokrokovým algoritmom merania je prietokomer plynu FLUXUS G721 štandardným meracím riešením pre akékoľvek priemyselné použitie - aj pre tie najnáročnejšie. Merač sa automaticky prispôbuje príslušným podmienkam merania a kompenzuje narušenie profilu prietoku, ako je rozptyl lúča a hluk prenášaný konštrukciou, čo umožňuje ešte presnejšie a spoľahlivejšie merania. Extrémne rýchle meracie cykly umožňujú presné sledovanie vysoko dynamických procesov v reálnom čase.<sup>8</sup>

<sup>1</sup> JOHNSON, Nels, et al. Natural gas pipelines. Nature. org, 2011, 1-9.

<sup>2</sup> JO, Y.-D.; AHN, Bum Jong. Analysis of hazard areas associated with high-pressure natural-gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process industries, 2002, 15.3: 179-188. ISSN: 0950-4230

<sup>3</sup> JO, Young-Do; CROWL, Daniel A. Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2008, 21.6: 589-595. ISSN: 0950-4230

<sup>4</sup> YODER, J. Coriolis alebo termický prietokomer? - AT&P journal 12/2005. ISSN 1335-2237

<sup>5</sup> KALINOSKI, Richard W.; VIGNOS, James H. *Ultrasonic flowmeter*. U.S. Patent No 4,195,517, 1980.

<sup>6</sup> YAMAMOTO, Toshihiro; NAKAMURA, Satoru; MIYAMOTO, Akio. *Clamp-on type ultrasonic flow meter and a temperature and pressure compensation method therein*. U.S. Patent No 5,856,622, 1999.

<sup>7</sup> GEFRAN. FLUXUS G721 - Setting Standards. - [on-line] dostupné na internete URL:

<https://www.gefran.com/nl/benelux/products/540-fluxus-g721-setting-standards-flowmeters-for-gases>

<sup>8</sup> FLEXIM. Setting Standards in Clamp-on Ultrasonic Gas Flow Measurement.

<https://www.flexim.com/us/products/permanent-flowmeters-gases/fluxus-g721>



Obr. 1 Kontrolná jednotka Flexim FLUXUS x721 a konzola s ultrazvukovými senzormi na procesnom potrubí.<sup>9</sup>

### Miesto merania a inštalácia prietokomera

Meranie bolo zvolené na merací bod potrubia so zemným plynom pod tlakom 23 bar pod úrovňou terénu v servisnej šachte, ako je ukázané na obr. 2. Potrubie je metalické s gumennou ochrannou izoláciou. Inštalácia senzorov prietokomera nevyžaduje priamy kontakt s povrchom potrubia, tým pádom nie je potrebné odstránenie izolácie. Tá v danom prípade spĺňa aj úlohu tlmenia rušivých signálov a vďaka tomu je rušenie ultrazvukových vln tlmené primárne samotnou izoláciou. Strieborná fólia medzi senzormi a potrubím je tlmiaca fólia s adhéznym povrchom, ktorá sa aplikuje na kovové potrubia pri meraní plynov a slúži práve na tlmenie rušivých signálov. Je to samolepiaci bitúmenový laminát s vysokou hustotou. Skladá sa zo zmesi na báze bitúmenu, zmäkčovadiel, elastomérov, variabilných granulometrických plnív. Obzvlášť vhodný pre aplikácie, kde sa vyžaduje vysoká flexibilita aj pri nízkych teplotách<sup>10</sup>.

Senzory sa vyberajú podľa druhu aplikácie, druhu média, druhu potrubia a procesnej teploty. Pre danú aplikáciu boli zvolené senzory LambWave pre štandardné teplotné rozsahy s krytím IP67.

Prevodníky ShareWave FLEXIM sa všeobecne používajú na meranie prietoku kvapalín, zatiaľ čo prevodníky LambWave na meranie prietoku plynov. Prevodníky ShareWave FLEXIM sú vhodné pre všetky bežné materiály potrubí, ako je oceľ, až po sklenené vlákna alebo betón, a sú tak univerzálne použiteľné. V prípade prevodníkov ShareWave sa do potrubia vysiela zameraný ultrazvukový signál. Vďaka svojmu inovatívnemu dizajnu môže jeden pár prevodníkov pokrývať veľmi široký rozsah použitia. Prevodníky Lamb Wave využívajú režim šírenia, ktorý objavil britský fyzik Horace Lamb - emitujú široký smer signálu do prúdiaceho média. To je obzvlášť výhodné pri meraní nízkotlakových plynov, pri ktorých účinnosť prenosu ultrazvukového signálu nie je optimálna.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> PRODUCTOS SUDO AMERICA. - [on-line] dostupné na internete URL:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fescosud.com%2Fproductos.php%3Fapl%3D2&psig=AOvVaw05PduyGNN581MYcQnPT2vR&ust=1612866385736000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCPCOxdGJ2u4CFQAAAAAdAAAAABAL>

<sup>10</sup> TROELSGRAVESEN. Damping materials. - [on-line] dostupné na internete URL:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiSrsz4jtruAhUhlcUKHflUCbsQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.troelsgravesen.dk%2Fcabinet-damping\\_files%2FDamping-materials.pdf&usg=AOvVaw3K8i2rflHxXjFz1HcV5p5T](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiSrsz4jtruAhUhlcUKHflUCbsQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.troelsgravesen.dk%2Fcabinet-damping_files%2FDamping-materials.pdf&usg=AOvVaw3K8i2rflHxXjFz1HcV5p5T)

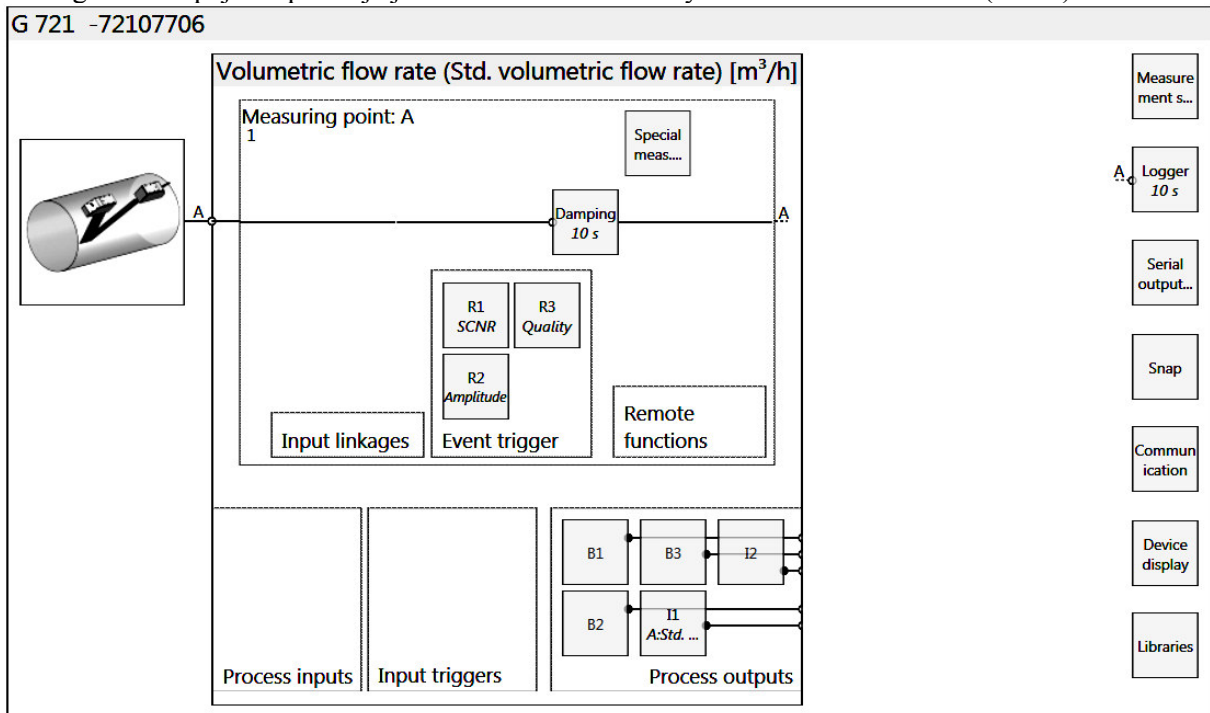
<sup>11</sup> FLEXIM. Innovative Measurement Technology. - [on-line] dostupné na internete URL:

<https://www.flexim.com/us/products/leading-technology/innovative-measurement-technology>



Obr. 2 Osadenie meracej jednotky Flexim G721 a pripojenie ultrazvukových senzorov.

Konfiguráciu zapojenia prístroja je možné zobrazíť dodaným softvérom zariadenia (obr. 3).



Obr. 3 Zobrazenie hardvérovej konfigurácie merania pomocou programu FluxDiag.

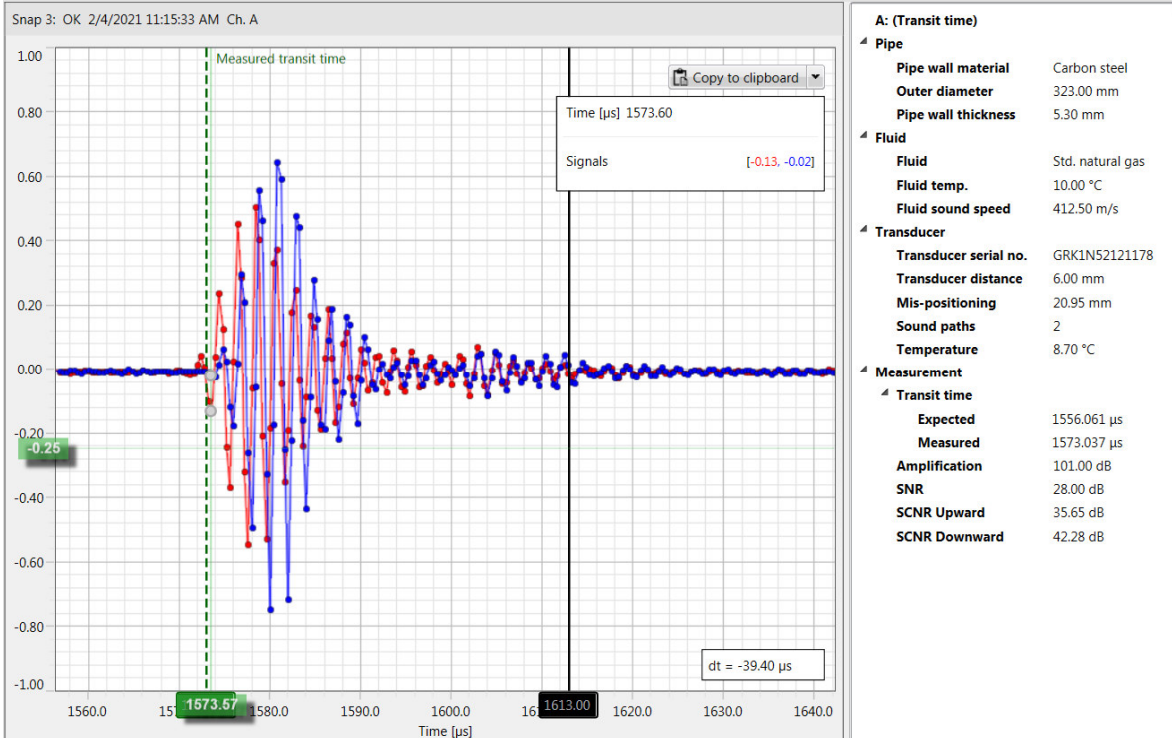
## Nastavenie kontrolnej jednotky

Kontrolná jednotka sa nastavuje pomocou numerickej klávesnice na prednej strane prístroja. Nastavenie je zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

*Tabuľka 1 Nastavenie kontrolnej jednotky prietokomera G721  
Meter programmed data*

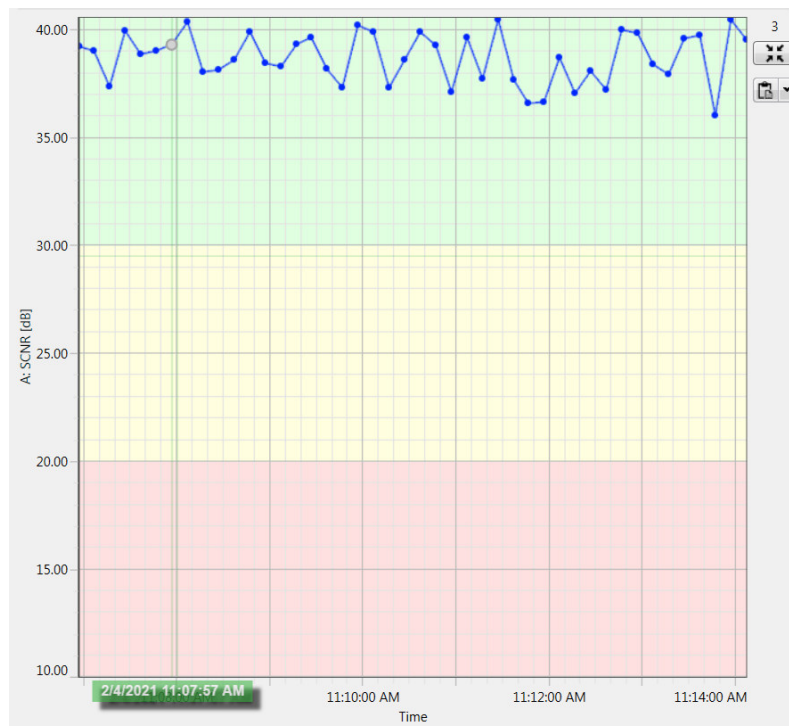
Physical quantity	Unit	A
Outer diameter	mm	323,00
Pipe wall thickness	mm	5,30
Pipe wall material		Carbon steel
Roughness	mm	0,10
Fluid		Std. natural gas
Fluid sound speed	m/s	418,28
Fluid temp.	°C	10,00
Fluid pressure	bar(a)	23,00
Transducer S/N		GRK1N52121178
Sound paths		2
Transducer distance	mm	6,00
Volume units		m <sup>3</sup> /h
Damping	s	10
Logging enabled		Yes
Storage mode		Last value
Storage rate	s	10
Ringbuffer		Yes
Add. diagnostics		Yes
Cut-off flow +		0.03 m/s (Default)
Cut-off flow -		0.03 m/s (Default)
Field calibration		See parameter page

Pomocou počítača a špeciálneho softvéru FluxDiag je možné popri sťahovaní a ukladaní nameraných údajov zobrazenie a uloženie aj tzv. snap-ov, čo je obraz ultrazvukových signálov spolu s diagnostickými parametrami, ako je ukázané na obr. 4. Pomocou dátového pripojenia je možné pracovať s daným softvérom na prístroji zo vzdialeného bodu.

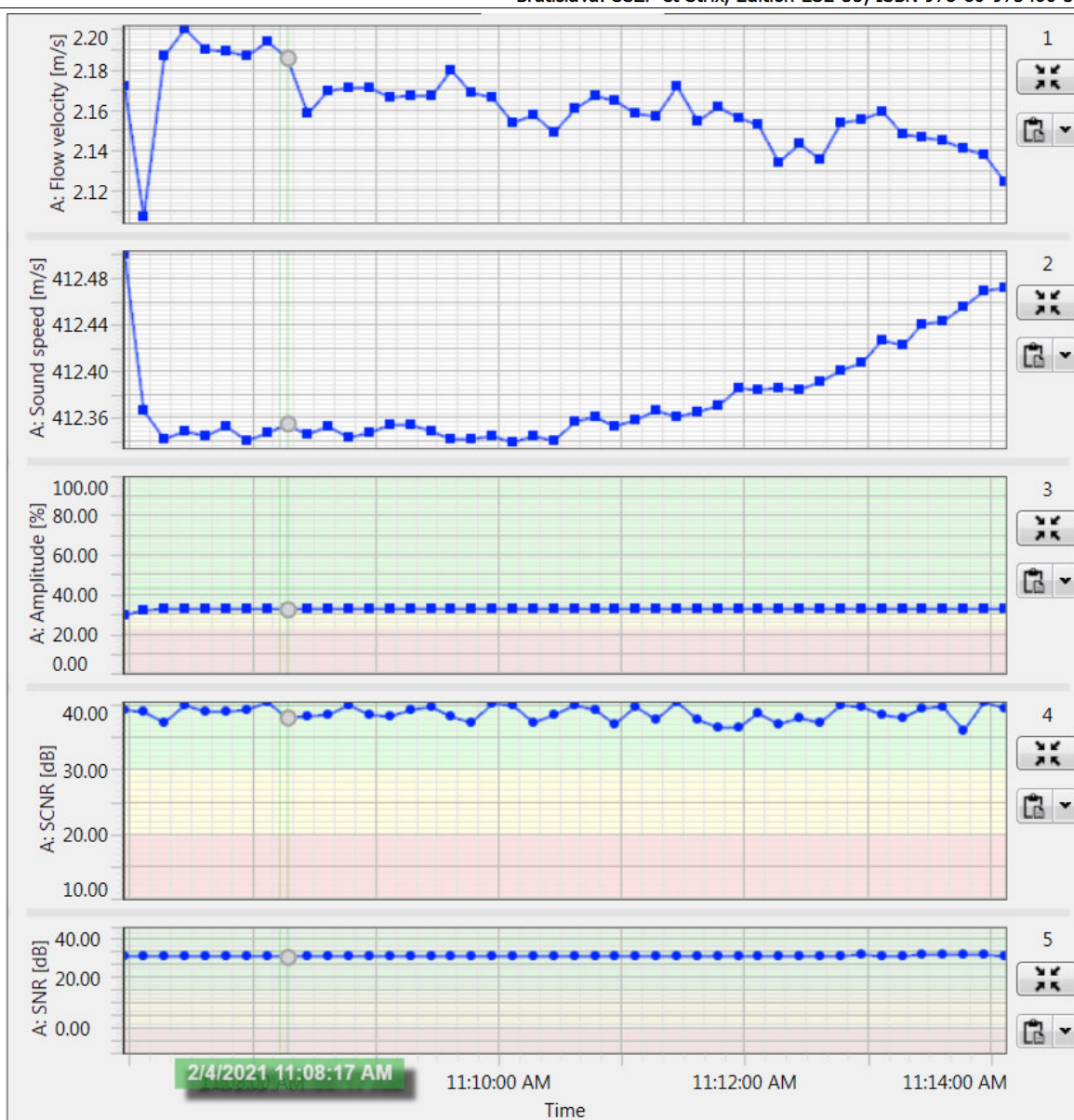


Obr. 4 Zobrazenie tvarov signálov cez merané médium spolu s diagnostickými údajmi o meraní.

Priebeh skúšobného merania bol odsledovaný pomocou ukladania a grafického vyobrazenia údajov. Zobrazenie pomocou softvéru FluxDiag je zobrazené na obr. 5 – hladina signálu SCNR a rýchlosti zvuku, amplitúdy signálu a rýchlosti prúdenia média na obr. 6. Hladina SCNR hovorí o funkčnosti merania a jej hodnota by sa mala pohybovať nad 30 dB.



Obr. 5 Priebeh signálu SCNR – odstup signál/šum.



Obr. 6 Zobrazenie trendov diagnostických signálov pomocou programu FluxDiag.

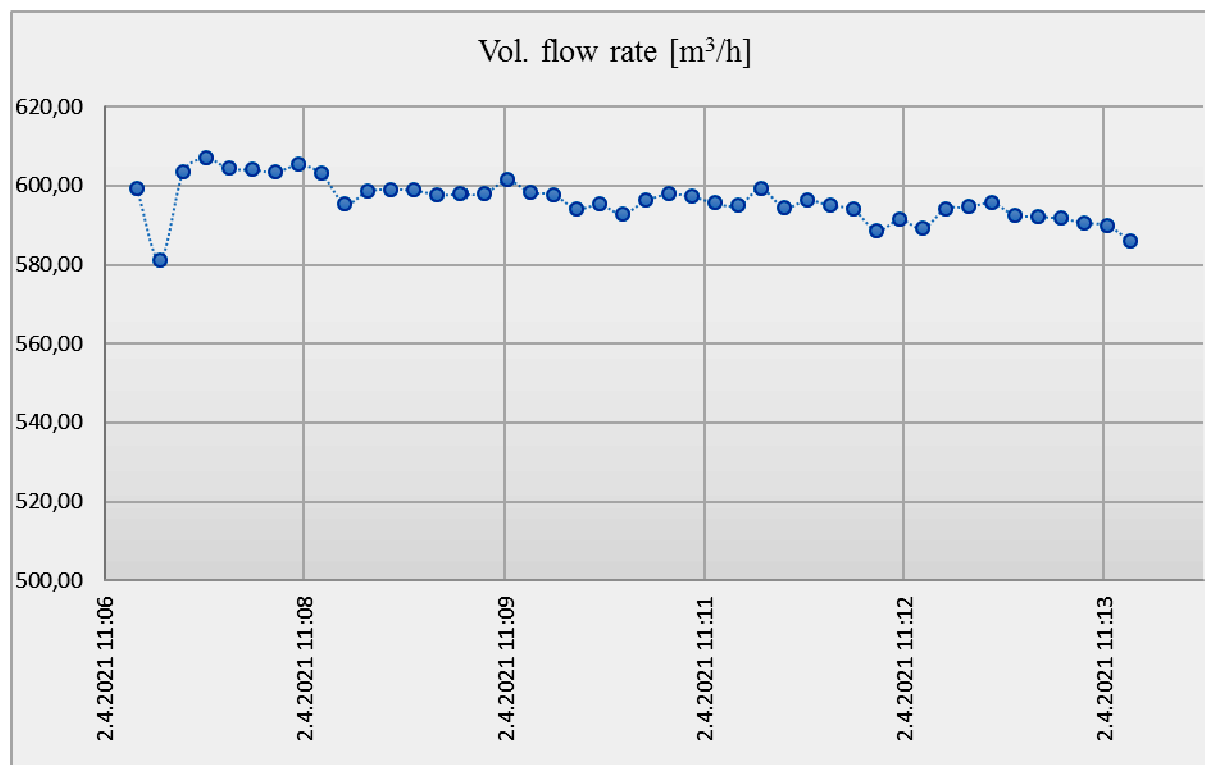
## Namerané údaje

Údaje z merania boli ukladané do vnútorného dataloggra kontrolnej jednotky. Pomocou programu FluxDiag boli exportované v tvare excelovej tabuľky do počítača. Výsledky merania sú uvedené v tabuľke 2. Grafické znázornenie priebehu objemového prietoku zemného plynu je zobrazené v grafe 1.

*Tabuľka 2 Namerané údaje prietoku zemného plynu spolu s vybranými diagnostickými údajmi*

Date & time	Std. vol. flow rate	Flow velocity	Sound speed	Amplitude	Quality	SNR	SCNR	Vol. flow rate
	[m <sup>3</sup> /h]	[m/s]	[m/s]	[%]	[%]	[dB]	[dB]	[m <sup>3</sup> /h]
2.4.2021 11:06	14284,06	2,17	412,5	29,60	73,60	28	39,2	599,31
2.4.2021 11:07	13853,71	2,11	412,4	31,61	69,03	28	39,0	581,25
2.4.2021 11:07	14384,03	2,19	412,3	32,28	71,21	28	37,4	603,51
2.4.2021 11:07	14468,49	2,20	412,3	32,28	68,67	28	39,9	607,05
2.4.2021 11:07	14404,20	2,19	412,3	32,28	69,44	28	38,9	604,35
2.4.2021 11:07	14400,31	2,19	412,4	32,28	70,96	28	39,0	604,19
2.4.2021 11:07	14383,22	2,19	412,3	32,28	76,05	28	39,3	603,47
2.4.2021 11:08	14427,04	2,19	412,3	32,28	70,55	28	40,4	605,31
2.4.2021 11:08	14376,02	2,19	412,4	32,28	76,97	28	38,0	603,17
2.4.2021 11:08	14193,97	2,16	412,3	32,28	66,01	28	38,1	595,53
2.4.2021 11:08	14268,12	2,17	412,4	32,28	65,84	28	38,6	598,64
2.4.2021 11:08	14278,85	2,17	412,3	32,28	68,66	28	39,9	599,09
2.4.2021 11:08	14275,39	2,17	412,3	32,28	74,03	28	38,5	598,95
2.4.2021 11:09	14248,45	2,17	412,4	32,28	69,05	28	38,3	597,82
2.4.2021 11:09	14251,02	2,17	412,4	32,28	73,77	28	39,3	597,92
2.4.2021 11:09	14254,14	2,17	412,3	32,28	72,81	28	39,6	598,06
2.4.2021 11:09	14334,60	2,18	412,3	32,28	67,54	28	38,2	601,43
2.4.2021 11:09	14262,65	2,17	412,3	32,28	73,71	28	37,3	598,41
2.4.2021 11:09	14248,05	2,17	412,3	32,28	67,99	28	40,2	597,80
2.4.2021 11:10	14162,20	2,15	412,3	32,28	69,91	28	39,9	594,20
2.4.2021 11:10	14188,31	2,16	412,3	32,28	70,12	28	37,3	595,29
2.4.2021 11:10	14131,33	2,15	412,3	32,28	70,62	28	38,6	592,90
2.4.2021 11:10	14212,71	2,16	412,4	32,28	69,30	28	39,9	596,32
2.4.2021 11:10	14250,88	2,17	412,4	32,28	70,04	28	39,3	597,92
2.4.2021 11:10	14236,94	2,16	412,4	32,28	68,93	28	37,1	597,33
2.4.2021 11:11	14196,20	2,16	412,4	32,28	69,91	28	39,6	595,62
2.4.2021 11:11	14181,73	2,16	412,4	32,28	74,44	28	37,7	595,02
2.4.2021 11:11	14282,72	2,17	412,4	32,28	66,73	28	40,5	599,25
2.4.2021 11:11	14168,54	2,15	412,4	32,28	70,15	28	37,7	594,46
2.4.2021 11:11	14216,42	2,16	412,4	32,28	67,40	28	36,6	596,47
2.4.2021 11:11	14180,21	2,16	412,4	32,28	71,45	28	36,6	594,95
2.4.2021 11:12	14158,14	2,15	412,4	32,28	71,45	28	38,7	594,03
2.4.2021 11:12	14030,49	2,13	412,4	32,28	75,19	28	37,1	588,67
2.4.2021 11:12	14097,27	2,14	412,4	32,28	73,58	28	38,1	591,47
2.4.2021 11:12	14044,13	2,14	412,4	32,28	66,94	28	37,2	589,24
2.4.2021 11:12	14162,66	2,15	412,4	32,28	68,10	28	40,0	594,22
2.4.2021 11:12	14171,82	2,15	412,4	32,28	69,71	29	39,8	594,60
2.4.2021 11:13	14198,54	2,16	412,4	32,28	68,84	28	38,4	595,72
2.4.2021 11:13	14124,20	2,15	412,4	32,28	66,25	28	37,9	592,60
2.4.2021 11:13	14116,09	2,15	412,4	32,28	69,16	29	39,6	592,26
2.4.2021 11:13	14104,29	2,14	412,4	32,28	64,66	29	39,8	591,77
2.4.2021 11:13	14077,63	2,14	412,5	32,28	65,58	29	36,0	590,65
2.4.2021 11:13	14061,42	2,14	412,5	32,28	66,43	29	40,5	589,97
2.4.2021 11:14	13969,09	2,12	412,5	32,28	66,19	28	39,5	586,10





Graf 1 Priebeh objemového prietoku zemného plynu

### Štatistické vyhodnotenie merania

Program FluxDiag umožňuje vygenerovať aj štatistické vyhodnotenie merania ako je ukázané v nasledujúcich tabuľkách.

Tabuľka 3 Aplikačné parametre merania

Parameter		Value	Unit
outer diameter	$D_e$	3,23E-01	m
wall thickness	$\delta$	5,30E-03	m
wall soundspeed (1)	$c_w$	3235,80	m/s
fluid soundspeed	$c_f$	418,28	m/s
flow velocity max	$v_{max}$	5,0	m/s
flow velocity min	$v_{min}$	0,1	m/s
lining thickness	$\delta_l$		m
lining soundspeed	$c_l$		m/s
fluid temperature	$T$	10,0	°C
kin. viscosity	$\nu$	0,640	mm <sup>2</sup> /s
number sound paths	N_path	2	
number channels	N_Ch	1	

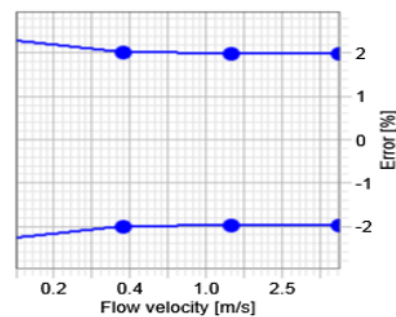
Tabuľka 4 Vstupné neistoty merania

Input Uncertainties		Source of uncertainty	expan.	stand.	
velocity profile	$u(K_{Ra})$ $u(D_c)$	fully developed turbulent flow	0,60%	0,30%	
outer diameter	$u(\delta)$	Pocket measuring tape	0,11%	0,06%	
wall thickness	$u(c_w)$	US probe, 8 points	1,89%	0,94%	
wall soundspeed	$u_w(K_{c_2})$	sound speed table	60	30	m/s
transferability of ac. calibr. factor	$u_{LW}(\Delta f)$ $u(K_a)$	Lamb Wave	1,86%	0,93%	
correlated sources	$u(\Delta f) \cdot t_0$	non	0,0E+00	0,0E+00	s
acoustic calib. factor	$u(x_{tr}) \cdot F_c$	factory calibration	0,15%	0,08%	
time difference	$u(t_0)$	factory calibration	1,20E-09	6,00E-10	s
transit time		factory calibration	4,00E-07	2,00E-07	s
delay time in coupling wedge		production tolerance	0,50%	0,25%	

Tabuľka 5 Celková neistota cez rýchlosť prúdenia

Standard Uncertainty			Sensit.	Flow velocities $\bar{v}_z$ [m/s]			
Formula	Source	Value	Factors	0,1	0,4	1,4	5,0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}}$	$\left  \frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{Ra})$	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. facto	0,93%	1	0,93%	0,93%	0,93%	0,93%
$u(\Delta t)$	time difference [s]	6,00E-10	1	0,57%	0,15%	0,04%	0,01%
$u(t_0)$	delay time	0,28%	0,03	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
$u(t_{tr})$	transit time	0,01%	-1	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	Standard uncertainty	$\frac{u(\bar{V})}{\bar{V}}$		<b>1,14%</b>	<b>1,00%</b>	<b>0,99%</b>	<b>0,99%</b>
	expanded uncertainty k=2 (95%)			<b>2,28%</b>	<b>2,00%</b>	<b>1,98%</b>	<b>1,98%</b>

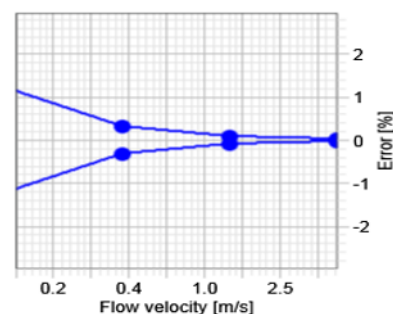
$$\frac{u(\bar{V})}{\bar{V}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}} \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2}$$



Tabuľka 6 Opakovateľnosť merania

Standard Uncertainty			Sensit.	Flow velocities $\bar{v}_z$ [m/s]			
Formula	Source	Value	Factors	0,1	0,4	1,4	5,0
$u(x_i)$		$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$\frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}}$	$\left  \frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}} \frac{u(x_i)}{x_i} \right $			
$u(K_{Ra})$	flow profile		1				
$u(A)$	cross sectional area		1				
$u(K_a)$	acoustic calib. factor		1				
$u(\Delta t)$	time difference [s]	6,00E-10	1	0,57%	0,15%	0,04%	0,01%
$u(t_0)$	delay time		0,03				
$u(t_{tr})$	transit time	0,01%	-1	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
	Standard uncertainty	$\frac{u(\bar{V})}{\bar{V}}$		<b>0,57%</b>	<b>0,15%</b>	<b>0,04%</b>	<b>0,02%</b>
	expanded uncertainty k=2 (95%)			<b>1,13%</b>	<b>0,31%</b>	<b>0,09%</b>	<b>0,03%</b>

$$\frac{u(\bar{V})}{\bar{V}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{d\bar{V}}{dx_i} \frac{x_i}{\bar{V}} \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2}$$



## Záver

Osadenie merania spolu s nastavením a skúšobnou prevádzkou trvalo dve hodiny. Kontrolná jednotka má prepracované intuitívne menu a po vložení procesných parametrov meraného média, materiálu a geometrie potrubia, vypočítava vzdialenosť senzorov pre ich montáž. Pred spustením

merania sa zobrazí diagnostické menu, kde sú parametre hovoriace o správnosti inštalácie a stave merania. Na základe niekoľkých údajov v dvoch krokoch je možné sa ubezpečiť, že meranie je v poriadku a prístroj podáva spoľahlivé údaje o prietoku média. Merané dáta sú zasielané do kontrolného strediska pre ďalšie spracovanie pomocou unifikovaných signálov. Samotná kontrolná jednotka podporuje vzdialenú konfiguráciu po ethernetovej linke.

Na základe skúšobnej prevádzky a uložených dát je možné povedať, že meranie je stabilné a spoľahlivé, nakoľko hladina signálu SCNR je nad hodnotou 35 dB. Smerodajným parametrom je aj meraná rýchlosť zvuku médiom. Očakávaná hodnota pri zemnom plyne je cca  $420 \text{ m.s}^{-1}$ . Pokiaľ sa táto hodnota výrazne líši, napr. viac ako  $50 \text{ m.s}^{-1}$ , je možné, že senzory nie sú presne osadené alebo nie sú správne hodnoty geometrie potrubia. Preto je vhodné mať k dispozícii aj senzor merania hrúbky steny potrubia, ten je však dodávaný iba k prenosným prietokomerom typu x601, resp. x608.

Výrobca deklaruje presnosť 1,5 percenta pri precíznom nastavení. Ak je prietokomer najustovaný na paralelné meranie certifikovaného merača prietoku, je možné dosiahnuť pomocou dvojice senzorov do kríža až presnosť 0,5 percent. Je to dané tým, že pri reálnych podmienkach je geometria potrubia iná ako v teoretickej rovine. V danom prípade ide o meranie prietoku plynu pri turbulentnom prietoku avšak prístroj má v matematických algoritmoch zohľadnené meranie aj turbulentných aj laminárnych prúdení a zabezpečená je vysoká výsledná presnosť merania.

## ADRESY AUTOROV

### Jiří Mačejovský

*Ecomonitoring s.r.o., Dobruška, Česká republika*

### David Kamarýt

*Ecomonitoring s.r.o., Dobruška, Česká republika*

### Ján Il'ko

*Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Bratislava, Slovenská republika*

*•MEDON GmbH, Olbendorf, Rakúsko*

#### **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.*