



## PROCESNÉ MERANIE PRIETOKU VYSOKOTEPLOTNEJ PARY AKO ENERGETICKÉHO MÉDIA TECHNOLOGIOU CLAMP-ON ULTRAZVUKOVOU METÓDOU CFM

Jan ILKO <sup>1</sup> - Miroslav RUSKO <sup>2</sup>

### PROCESS MEASUREMENT OF HIGH-TEMPERATURE STEAM FLOW AS AN ENERGY MEDIUM USING CLAMP-ON ULTRASONIC CFM TECHNOLOGY



INTEGRATED SAFETY OF ENVIRONS '2021

<sup>1</sup> Flexim GmbH, Olbendorf, Republik Österreich Email: [jilko@flexim.at](mailto:jilko@flexim.at)

<sup>2</sup> Slovenská spoločnosť pre životné prostredie, Kocelova 15, 815 94 Bratislava, Slovenská republika Email: [mirorusko@centrum.sk](mailto:mirorusko@centrum.sk)

ORCID iD: 0000-0002-1428-0141

Competing interests: The author declares no competing interests.

Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2021 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

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

#### ABSTRAKT

Obsahom príspevku je predložiť výsledky procesného merania prietoku pary pre vypracovanie energetických bilancii a návrhu optimalizačných postupov. Meranie bolo vykonané na vetve vysokoteplotnej pary. Pre meranie prietoku bol použitý ultrazvukový prietokomer od popredného výrobcu ultrazvukovej meracej techniky pracujúcom na princípe korelačného snímania rýchlosti prúdenia – CFM. Ďalším cieľom je tiež využitie postupov a nameraných údajov pre ďalší výskum a nasadenie v priemyselnej praxi v rámci zvyšovania efektivity procesov a prevádzkovej bezpečnosti.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** Prietok pary, clamp-on, meranie, ultrazvuk

#### ABSTRACT

The aim of the paper is to present the results of process measurement of steam flow for the development of energy balances and the design of optimization procedures. The measurement was performed on a high temperature steam line. An ultrasonic flow meter from a leading manufacturer of ultrasonic measuring technology working on the principle of correlation flow rate monitoring - CFM - was used to measure the flow. Another goal is to use procedures and measured data for further research and deployment in industrial practice in order to increase process efficiency and operational safety.

**KEYWORDS:** Steam flow, clamp-on, measurement, ultrasound



## Úvod

Akceptovanie environmentálnych kritérií a aplikácia požadovaných parametrov a prvkov pri vývoji, výrobe a prevádzkovaní technológií, je pravdepodobne jediná cesta k tomu, aby technológie prestali produkovať environmentálne problémy, ktoré musia byť potom riešené ex post pod tlakom následkov škôd, ktoré zapríčinili v prostredí vrátane oblasti zdravia ľudí<sup>1, 2</sup>. Významnú úlohu zohráva vhodný monitoring energetických médií<sup>3</sup>.

Para ako energetické médium je široko využívaná najmä v priemysle avšak svoje miesto nachádza aj v oblasti energetiky, farmaceutike, lekárstve a iných odvetviach. Pre monitorovanie spotreby, zefektívnenie využitia, vypracovaniu energetických bilancií a zníženiu strát je nutné čo najpresnejšie merať jej prietok. Štandardne sa to vykonáva meracími zariadeniami, využívajúcich bežné metódy merania prietoku, ako napr. meracia clona a pod. Tieto metódy sú tzv. insitu a pri osádzaní do systému poprípade oprave či údržbe, vyžadujú presmerovanie média do náhradnej vetvy, v horšom prípade odstavenie prevádzky.

Clamp-on meranie nezasahuje do procesu čo neovplyvňuje chod prevádzky a tým prináša veľké výhody a podstatne zvyšuje spoľahlivosť technologického procesu, nepredstavuje riziko pre životné prostredie a bezpečnosť práce.

## Miesto merania

Para na meranej línii je dodávaná z teplárne, t.j. para z kotla je využívaná na pohon turbogenerátorov a para z riadenej spotreby je privádzaná do parných rozvodov spoločnosti. Okrem teplárne je odoberaná para aj z iných sekundárnych zdrojov (najmä zo spalínového kotla - chladenie spalín). Používa sa na dávkovacom mieste na pohon čerpadiel. Prevádzkovateľ momentálne používa meranie diferenčným tlakomerom.

Cieľom bolo meranie hmotnostného prietoku na internej parnej dopravnej vetve pomocou neinvazívnej meracej metódy na princípe CFM. Vzhľadom na procesné podmienky bolo potrebné zistiť, ktorý typ snímača (K, G alebo M) je najvhodnejší. Procesné parametre parnej vetvy sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Procesné parametre

Parameter	min	nom	max
Tlak	2,9 MPa(g)	3,35 MPa(g)	3,5 MPa(g)
Teplota	275 °C	320°C	328 °C
Prietok	0 t/h	8 t/h	20 t/h
Priemer potrubia	DN 200		

## Princíp merania CFM

CFM FLUXUS ST-HT meria prietok pary neinvazívne z vonkajšej strany potrubia. Neinvazívne meranie prietoku pary znamená meranie bez akéhokoľvek prerušenia prevádzky alebo dodávky. Vzhľadom k tomu, že upínacie ultrazvukové meniče sú jednoducho namontované na vonkajšej strane

<sup>1</sup> Rusko, M., Sablik, J., Marková, P., Lach, M., & Friedrich, S. M. (2013): Sustainable development, quality management system and environmental management system in Slovak Republic. In *Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium, 24th DAAAM Zadar 2013-10-23/26*

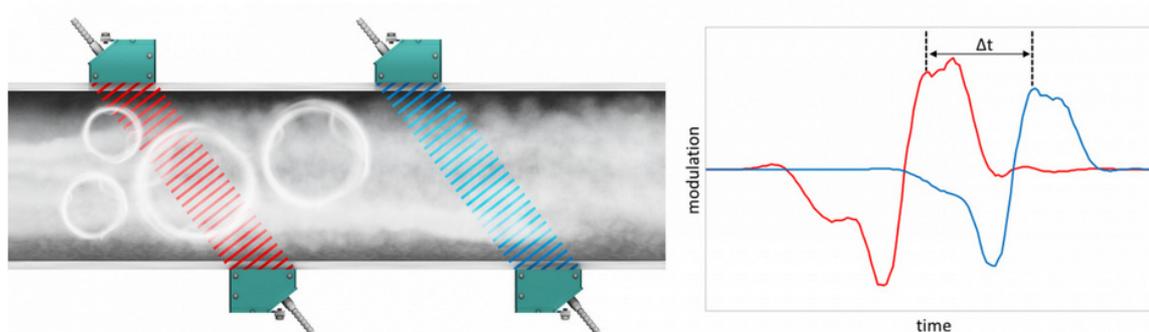
<sup>2</sup> Králiková, R., Wessely, E. & Rusko, M. (2011): The use of Six Sigma method within the framework of environmental management. In *Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium 2011 : Vol. 22, No. 1 : Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity", 23-26th November 2011, Vienna, Austria.* s.0187-0188. ISSN 1726-9679

<sup>3</sup> Rusko, M. & Il'ko, J. (2018): Measurement of compressed air flow in the production technology for the purpose of dimensioning of compressors using ultrasonic flowmeter. - In *Řízení rizik procesů spojených s technickými díly*. 1. vyd. Praha : ČVUT, pp. 415-422. ISBN 978-80-01-06515-0



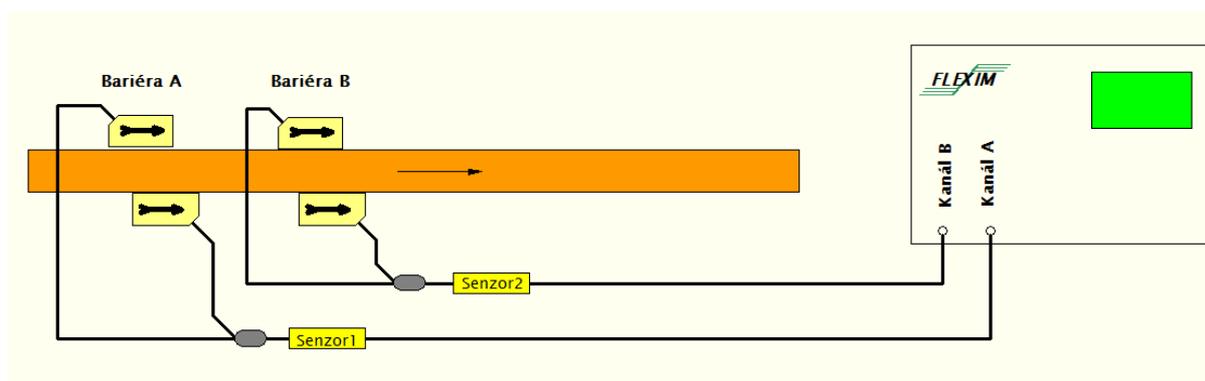
potrubia, vyžaduje si to len minimálne úsilie pri inštalácii a žiadne prieniky potrubím.<sup>4</sup> Pri ultrazvukovom meraní prietoku sa zisťuje rýchlosť prúdenia tekutiny v potrubí. Ďalšie fyzikálne veličiny sú odvodené z rýchlosti prúdenia a v prípade potreby z doplnkových fyzikálnych veličín. Pre optimálne meranie musí byť profil prúdenia plne rozvinutý a osovo symetrický. Tvar prietokového profilu závisí od toho, či je prúdenie laminárne alebo turbulentné a je ovplyvnené podmienkami na vstupe do meracieho bodu.

Rýchlosť prúdenia tekutiny sa meria pomocou korelačného princípu. Dva páry ultrazvukových transducerov rovnakého typu sú namontované jeden po druhom vo vzdialenosti  $\Delta x$  na potrubí, ktoré je úplne naplnené tekutinou. Páry prevodníkov tvoria meracie bariéry A a B ako je ukázané na obrázku 1. Ultrazvukové signály sú striedavo vysielané transducermi A1 a B1 a prijímané príslušnými transducermi A2 a B2. Ultrazvukové signály sú modulované vzhľadom na amplitúdu a fázu vírmi turbulently prúdiacej tekutiny. Pretože sa víry pohybujú s prúdením, prechádzajú cez meracie bariéry A a B s časovým posunom  $\Delta t$ , takže modulačné vzory ultrazvukových signálov meracej bariéry A a B sú tiež posunuté o  $\Delta t$ . Tento časový posun sa meria pomocou krížovej korelácie modulačných signálov. Priemernú rýchlosť prúdenia možno vypočítať pomocou kalibračného faktora mechaniky tekutín.<sup>5</sup> Mechanické usporiadanie meracej zostavy je zobrazené na obrázku 1.



Obr. 1 Princíp merania metódou CFM Correlation Flow Measurement.<sup>6</sup>

Senzory sú spojené s vyhodnocovacou jednotkou ako je ukázané na obrázku 2.



Obr. 2 Usporiadanie meracej zostavy CFM.

### Príprava meracieho miesta a osadenie snímačov

<sup>4</sup>Flexim. FLUXUS G722 ST-HT High-temperature Steam Measurement. Online <https://www.flexim.com/en/product/fluxus-g722-st-ht>

<sup>5</sup>Flexim. Operating instruction for FLUXUS G722ST-HT.

<sup>6</sup>Flexim. Correlation Flow Measurement Principle. <https://www.flexim.com/en/correlation-flow-measurement-principle>

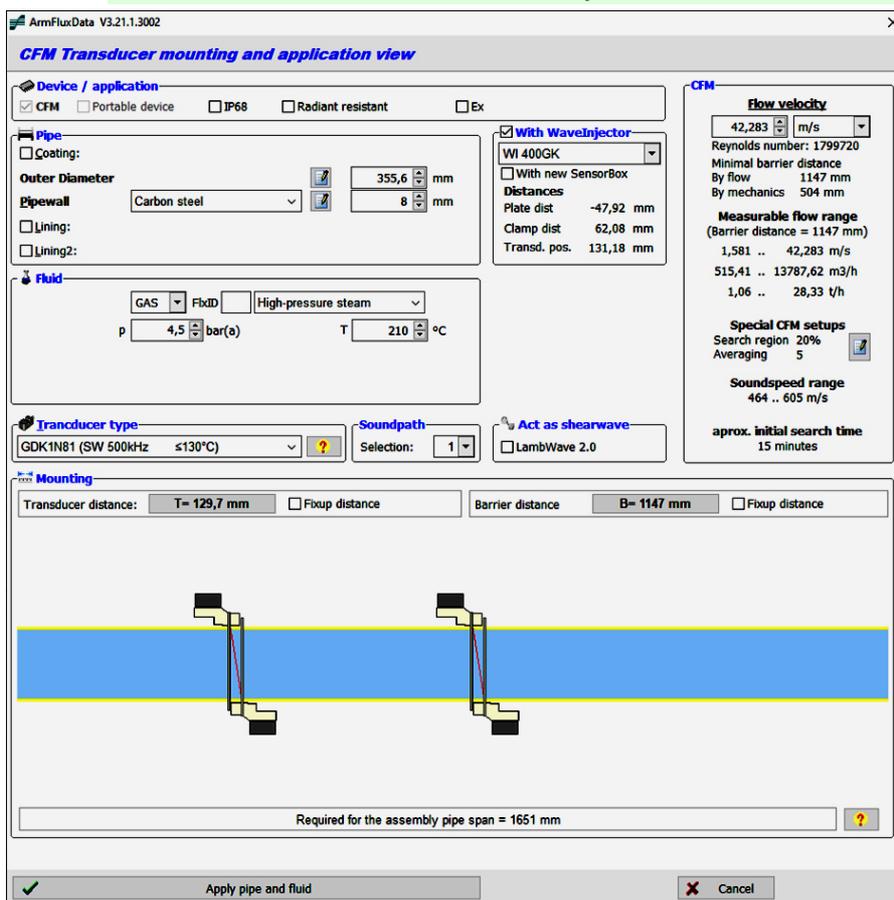


Príprava povrchu potrubia nevyžaduje úpravu povrchu okrem odstránenia tepelnej izolácie. Vzhľadom na vysokú povrchovú teplotu potrubia je potrebné použiť mechanický prípravok zvaný WaveInjector, ktorý plní funkciu tepelnej izolácie medzi ultrazvukovými senzormi a povrchom procesného potrubia a zároveň prenáša zvukové vlny od senzora do steny potrubia. Osadenie je zobrazené na obrázku 3.



*Obr. 3 Osadenie senzorov na procesnom potrubí.*

Vzdialenosť medzi senzormi je vypočítavaná pomocou softvéru FluxFlow dodávaného výrobcom prietokomera. Výpočet je zobrazený na obrázku 4.



Obr. 4 Výpočet mechanického osadenia senzorov na potrubí pomocou programu FluxFlow.

Pre sálanie tepla z povrchu potrubia bolo potrebné tepelne zaizolovať plochu pod senzormi ako je ukázané na obr. 5.



Obr. 5 Dočasná izolácia povrchu parného potrubia.

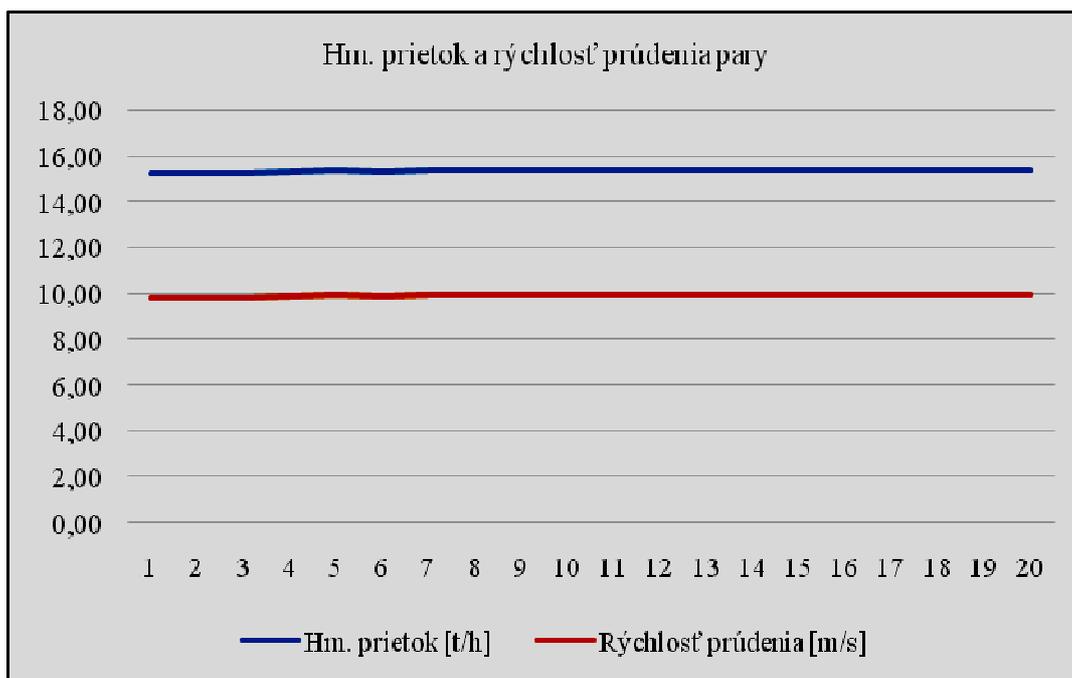
Technológia CFM potrebuje pre zabezpečenie presnosti merania presnú matematickú koreláciu signálov z oboch bariér a preto má meranie opozdenie asi 10 sekúnd.



Tabuľka 2 Namerané hodnoty hmotnostného prietoku a rýchlosti prúdenia pary

Meranie	Dátum	Hm. prietok [t/h]	Rýchlosť prúdenia [m/s]
1	11.17.2021 12:15:11 PM	15,21	9,86
2	11.17.2021 12:15:14 PM	15,22	9,87
3	11.17.2021 12:15:17 PM	15,25	9,88
4	11.17.2021 12:15:20 PM	15,28	9,90
5	11.17.2021 12:15:23 PM	15,33	9,94
6	11.17.2021 12:15:26 PM	15,32	9,93
7	11.17.2021 12:15:29 PM	15,33	9,94
8	11.17.2021 12:15:32 PM	15,35	9,95
9	11.17.2021 12:15:35 PM	15,33	9,93
10	11.17.2021 12:15:38 PM	15,34	9,94
11	11.17.2021 12:15:41 PM	15,33	9,94
12	11.17.2021 12:15:44 PM	15,34	9,94
13	11.17.2021 12:15:47 PM	15,37	9,96
14	11.17.2021 12:15:50 PM	15,36	9,96
15	11.17.2021 12:15:53 PM	15,36	9,95
16	11.17.2021 12:15:56 PM	15,35	9,95
17	11.17.2021 12:15:59 PM	15,35	9,95
18	11.17.2021 12:16:02 PM	15,34	9,94
19	11.17.2021 12:16:05 PM	15,34	9,94
20	11.17.2021 12:16:08 PM	15,33	9,94

Grafické zobrazenie nameraných údajov hmotnostného prietoku a rýchlosti prúdenia pary je v grafe 1.



Graf 1 Hmotnostný prietok a rýchlosť prúdenia pary.



## Záver

Pre nedostupnosť meraného miesta bolo potrebné postaviť lešenársku plošinu a dostatočne odstrániť izoláciu, čo trvalo asi dve hodiny. Bola realizovaná konštrukcia so snímačmi ShareWave K a WaveInjectorom na potrubnom moste vo výške cca 20 m. Na nájdenie signálu bolo potrebné vykonať rôzne testy. Pre zmenu procesných podmienok bolo potrebné upraviť vzdialenosť medzi snímačmi. Na ochranu snímačov pred sálavým teplom bolo potrubie na skúšku prikryté keramickým izolačným papierom.

Namerané hodnoty boli prevádzkovateľom porovnané s riadiacim systémom súčasne so statickými mesačnými hodnotami tlaku a teploty a bola preukázaná korelácia medzi CFM a insitu meraniami. Všetky diagnostické hodnoty počas testu boli veľmi dobré a stabilné a podmienky rovných úsekov pre a za meraním (50x D / > 200D) boli absolútne dostatočné, takže bola dosiahnutá vysoká presnosť merania.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Flexim. Correlation Flow Measurement Principle. - [on-line] Available on - URL: <https://www.flexim.com/en/correlation-flow-measurement-principle>
- Flexim. FLUXUS G722 ST-HT High-temperature Steam Measurement. – [on-line] Available on - URL: <https://www.flexim.com/en/product/fluxus-g722-st-ht>
- Flexim. Operating instruction for FLUXUS G722ST-HT.
- Králiková, R., Wessely, E. & Rusko, M. (2011): The use of Six Sigma method within the framework of environmental management. In *Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium 2011 : Vol. 22, No. 1 : Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity", 23-26th November 2011, Vienna, Austria.* s.0187-0188. ISSN 1726-9679
- Rusko, M. & Il'ko, J. (2018): Measurement of compressed air flow in the production technology for the purpose of dimensioning of compressors using ultrasonic flowmeter. - In *Řízení rizik procesů spojených s technickými díly.* - Praha : ČVUT, pp. 415-422. ISBN 978-80-01-06515-0
- Rusko, M., Sablik, J., Marková, P., Lach, M., & Friedrich, S. M. (2013): Sustainable development, quality management system and environmental management system in Slovak Republic. - In *Annals of DAAAM and Proceedings of DAAAM Symposium, 24th DAAAM Zadar 2013-10-23/26*