



Manažérstvo životného prostredia

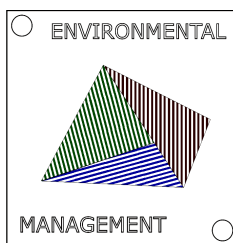


**Article**

# PODKLADOVÁ ŠTÚDIA PRE KVANTIFIKÁCIU TVORBY INKRUSTÁCIE VO VODNOM OKRUHU TEPELNÉHO VÝMENNÍKA ULTRAZVUKOVÝM MONITOROM PRIETOKU

 Jan IEKO <sup>1</sup> -  Georg ROCKEL <sup>2</sup>

## INTRODUCTION STUDY FOR THE QUANTIFICATION OF INCRUSTATION FORMATION IN THE WATER CIRCUIT OF A HEAT EXCHANGER USING AN ULTRASONIC FLOW MONITOR




<sup>2</sup> Emerson – Flexim, Berlin, Bundesrepublik Deutschland

 ORCID iD: 0009-0000-4696-7194


<https://orcid.org/0009-0000-4696-7194>

<sup>2</sup> FleximGmbH, Berlin, Bundesrepublik Deutschland | PhD Scholar in the Department of Economics and Management, Mendel University Brno, Czech Republic

 ORCID iD: 0000-0003-0379-0653


<https://orcid.org/0000-0003-0379-0653>


 *Competing interests* : The author declare no competing interests.

 *Publisher's Note*: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2023 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.

 Slovak Society for the Environment ( Slovenská spoločnosť pre životné prostredie ) Bratislava, Slovak Republic

### ABSTRAKT

Štúdia pojednáva o možnosti monitorovania tvorby inkrustácie vnútri teplovodného okruhu tepelných výmenníkov. Poskytuje teoretické základy pre možnosť využitia moderných technológií v oblasti procesného merania pre kvantifikáciu zanášania potrubných systémov nie len pre výmenníky tepla ale

aj širšie využitie monitorovania tvorby inkrustácie v technologickej praxi. Na základe skúseností z oblasti priemyselných aplikácií je hodnotené využitie techniky pre zníženie prevádzkových nákladov, zvýšenie energetickej účinnosti tepelných zariadení a dopadov na ochranu životného prostredia.

**Kľúčové slová:** Procesné meranie, inkrustácia, energetický manažment, životné prostredie.

### ABSTRACT

The following study discusses the possibility of monitoring the formation of incrustation inside the hot water circuit of heat exchangers. It provides the theoretical basis for the possibility of using modern technologies in the field of process measurement for the quantification of fouling of pipe systems not only for heat exchangers but also for the wider use of monitoring the formation of incrustation in technological practice. Based on experience in the field of industrial applications, the use of technology to reduce operating costs, increase the energy efficiency of thermal devices and impact on environmental protection is evaluated.

**Keywords:** Process measurement, incrustation, energy management, environment.

### Úvod

Inkrustácia alebo znečistenie vo výmenníkoch tepla je významnou výzvou v rôznych priemyselných procesoch, čo vedie k zníženiu účinnosti, zvýšenej spotrebe energie a vyšším prevádzkovým nákladom. Výmenníky tepla sú kritickými komponentmi v mnohých odvetviach vrátane výroby energie, chemického spracovania a systémov HVAC. Tvorba inkrustov, typicky zložených z minerálnych usadenín, biologického rastu a pevných častíc, môže vážne zhoršiť účinnosť prenosu tepla a prietoky. Tradičné metódy na detekciu a kvantifikáciu inkrustov často zahŕňajú manuálne kontroly a pravidelné odstávky údržby, ktoré môžu byť nákladné a časovo náročné. Rastie potreba monitorovacích a kvantifikačných techník v reálnom čase na proaktívne riadenie znečistenia. Ultrazvuková technológia monitorovania prietoku predstavuje sľubné riešenie tohto problému. Využitím ultrazvukových vln je možné zistiť zmeny prietokových charakteristík, ktoré indikujú prítomnosť a rast inkrustov.

### Teoretická analýza inkrustácie

Tvrdosť vody je celková koncentrácia iónov vápnika a horčíka vo vzorke vody a je vyjadrená ako koncentrácia uhličitanu vápenatého. Dočasná tvrdosť je tá časť celkovej tvrdosti, ktorá varom zmizne.<sup>1</sup> Podľa chemického zloženia, teda podľa prevládajúcich iónov, možno vody rozdeliť na vápenato-hydrogenuhličitano-chloridové vody, vápenato-hydrogenuhličitanovo-síranové vody a vápenato-hydrogenuhličitanové vody. Vody vápenato-hydrogenuhličitano-chloridové majú pomer Ca/Mgeq. od 0,2 do 3, teda do 18° dH (do 320 mg CaCO<sub>3</sub>/l), čo znamená, že ide o vody strednej až zvýšenej tvrdosti, ktoré nepôsobia korozívne. Vody vápenato-hydrogenuhličitanovo-síranové sú charakterizované hodnotou pomeru Ca/Mgeq. medzi 3 a 4, čo znamená vodu so stupňom tvrdosti do 30° dH (do 530 mg CaCO<sub>3</sub>/l), teda tvrdú vodu. Vody s hydrogenuhličitanom vápenatým majú pomer 2.<sup>2</sup>

V súčasnosti sa neustále zvyšujú požiadavky na komfort života, s čím súvisí aj okamžitá a nepretržitá dodávka vody v požadovanej kvalite pre domácnosti, podniky, priemysel a pod. Korózia a

<sup>1</sup> Ansell, R.O. 2005. ION-SELECTIVE ELECTRODES | Water Applications. - Encyclopedia of Analytical Science. ISBN: 978-0-12-369397-6, p. 540-545. - [on-line] Available on - URL: <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780123693976/encyclopedia-of-analytical-science>, - [on-line] Available on - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0123693977002983>, <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00298-3>

<sup>2</sup> Štambuk-Giljanović N, Štambuk D: Information subsystem of the Ca/Mg ratio as a database for studying its influence on human health. Journal of Medical Systems, 29, 581– 588, 2005.

inkrustácia potrubných rozvodov môže vážne ohroziť dodávku vody a tiež aj jej kvalitu.<sup>3</sup> Korozívne sedimenty zhoršujú chemické a senzorké vlastnosti vody, čo býva často príčinou sťažností spotrebiteľov. Vodovodné potrubia sa časom postupne zanášajú predovšetkým vodným kameňom, čo vedie k menšiemu pohybu vody v potrubí a zníženiu tlaku vody.<sup>4</sup>

Mechanizmom tvorby inkrustácie sa venovali Martin Vendel a Ake C. Rasmuson v zaujímavej štúdii *Mechanisms of Initiation of Incrustation* (1997). Okrem iného sa v štúdii píše o iniciácii inkrustácie kryštalizačnými mechanizmami. „*Výsledky ukazujú, že pevný povrch môže katalyzovať primárnu nukleáciu, a teda podporovať iniciáciu inkrustácie, ale to bolo zaznamenané len pri pomerne vysokom presýtení. Zrážka kryštálov s pevným povrchom v presýtenom roztoku môže iniciovať inkrustáciu pri primerane nízkom presýtení a môže mať podstatný priemyselný význam*“.<sup>5</sup>

Kombinácia obnoviteľných zdrojov energie s inými technickými zariadeniami patrí k vysoko efektívnym a prevádzkovo spoľahlivým spôsobom šetrenia energií, životného prostredia a prevádzkových nákladov.<sup>6</sup>

## Výskum

Výskumná zložka realizačnej štúdie sa zameriava na podrobnú analýzu údajov získaných z ultrazvukového monitorovacieho systému prietoku. Medzi hlavné ciele bude patriť:

### *Charakterizácia tvorby inkrustácie:*

Pochopenie špecifických vlastností inkrustácie, ktoré ovplyvňujú šírenie ultrazvukového signálu. To zahŕňa štúdium akustických vlastností rôznych znečisťujúcich materiálov a ich vplyvu na meranie prietoku.

### *Korelačná analýza:*

Stanovenie robustnej korelácie medzi ultrazvukovými meraniami a skutočným rozsahom inkrustácie. To bude zahŕňať štatistickú analýzu a regresné modelovanie na určenie kľúčových indikátorov znečistenia.

### *Hodnotenie výkonu:*

Hodnotenie výkonu ultrazvukového monitora prietoku v rôznych prevádzkových podmienkach, vrátane rôznych prietokov, teplôt a typov inkrustov. Cieľom je určiť spoľahlivosť a presnosť systému v reálnych scenároch.

### *Hodnotenie ekonomických a environmentálnych vplyvov:*

Hodnotenie potenciálnych ekonomických výhod implementácie ultrazvukového monitorovania v priemyselných podmienkach. To zahŕňa úspory nákladov v dôsledku zníženia údržby a prestojov, ako aj zlepšenia energetickej účinnosti. Okrem toho sa bude analyzovať environmentálny vplyv zníženej inkrustácie na spotrebu zdrojov a emisie.

<sup>3</sup> Bratská, Z.: *Inhibitory korózie na báze fosforečnanov a hygienické kritéria na ich aplikáciu do rozvodov pitnej vody*. - Enviroportal. – [on-line] Available on - URL: <https://pitnavoda.enviroportal.sk/inhibitory-korozie-na-baze-fosforecnanov-a-hygienicke-kriteria.html>

<sup>4</sup> Cvelihárová, D. & Pauliková, A., 2019. Legislatívna podpora pre zabezpečenie požadovanej kvality vody v distribučných systémoch. In: *Globálne existenciálne riziká 2019*. ISBN 978-80-89753-35-2. Žilina: Strix, pp. 114-124. – [on-line] Available on - URL: [https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2019\\_conference\\_GER\\_p-114\\_CveliharovaD\\_PaulikovaA\\_f4a.pdf](https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2019_conference_GER_p-114_CveliharovaD_PaulikovaA_f4a.pdf)

<sup>5</sup> Vendel, M., & Rasmuson, Å. C. (1997). *Mechanisms of initiation of incrustation*. *AIChE Journal*, 43(5), 1300–1308. doi:10.1002/aic.690430518

<sup>6</sup> Predajnianska, A. & Takács, J., 2021. The Possibility of Using the Energy Potential of Waste Pool Water. - In *GEOLINKS 2021. Book 1, volume 3, extended version: Air Pollution and Climate Change, Biotechnologies, Environmental Geology, Soil Science, Water Resources*, conference proceedings. 17-18 May 2021, Sofia : SAIMA Consult, 2021, s. 481-487. ISSN 2603-5472. ISBN 978- 619-7495-17-1., DOI: 10.32008/geolinks2021/b1/v3/53, - [on-line] Available on - URL: <https://m.booksci.cn/literature/121455458.htm>

**Odporúčania na implementáciu:** Na základe zistení budú poskytnuté praktické odporúčania pre integráciu ultrazvukového monitorovania prietoku do systémov priemyselných výmenníkov tepla. To bude zahŕňať pokyny pre inštaláciu, kalibráciu a údržbu monitorovacieho zariadenia.

Očakáva sa, že výsledok tohto výskumu preukáže uskutočniteľnosť a výhody použitia ultrazvukových monitorov prietoku na kvantifikáciu inkrustácie vo výmenníkoch tepla v reálnom čase. Poskytnutím spoľahlivej a neinvazívnej metódy detekcie znečistenia má táto technológia potenciál výrazne zvýšiť efektívnosť a udržateľnosť priemyselných procesov.

V teplovodných okruhoch hrá dôležitú úlohu aj biologická zložka, čím sa myslí obsah baktérií a vírusov vo vode. Jednou z možností je prvotná úprava vody ultravioletovým svetlom.

UV dezinfekcia vody je jedna z možností ako si upraviť vodu proti baktériám. Používajú sa hlavne na úpravu studničnej vody, ktorá je často kontaminovaná baktériami. Inštaluje sa na centrálny prívod vody do domu. Najlepšie za mechanický filter a úpravu vody proti usadzovaniu vodného kameňa. Ak by sa voda neupravila, tak by sa časom na skle UV lampy vytvoril nános a tým sa značne zníži účinnosť UV lampy. Znížila by sa svietivosť a ožarovanie vody a tým aj likvidácia baktérií. Najlepšie je použiť zmäččovač vody, ktorý je ideálne riešenie na odstránenie dusičnanov a na filtráciu vody zo studne.<sup>7</sup>

## Záver

Celkovo štúdiá podčiarkuje potenciál ultrazvukového monitorovania prietoku ako cenného nástroja v priemyselných aplikáciách, ktorý ponúka praktické riešenie na riadenie inkrustácie v systémoch výmenníkov tepla. Prijatím tejto technológie môžu priemyselné odvetvia dosiahnuť vyššiu prevádzkovú efektívnosť, nižšie náklady a prispieť k udržateľnejšej budúcnosti. Ekonomické a environmentálne výhody využívania ultrazvukového monitorovania prietoku sú pozoruhodné. Znížením frekvencie manuálnych kontrol a odstávok údržby môžu priemyselné odvetvia dosiahnuť významné úspory nákladov a minimalizovať prestoje. Okrem toho zlepšená účinnosť výmenníka tepla vedie k nižšej spotrebe energie a zníženiu emisií skleníkových plynov, čo prispieva k trvalej udržateľnosti životného prostredia. Aplikácia ultrazvukového monitorovania prietoku na detekciu a kvantifikáciu tvorby inkrustov vo výmenníkoch tepla predstavuje viacero zaujímavých možností, ktoré budú popísané v ďalších štúdiách s praktickým meraním v reálnych podmienkach.

## ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Ansell, R.O. 2005. ION-SELECTIVE ELECTRODES | Water Applications. - Encyclopedia of Analytical Science. ISBN: 978-0-12-369397-6, p. 540-545. – [on-line] Available on - URL: <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780123693976/encyclopedia-of-analytical-science> , - [on-line] Available on - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0123693977002983> , <https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00298-3>
- BioHit. UV lampa na vodu - dezinfekcia vody. – [on-line] Available on - URL: [https://www.biohit.sk/uv-lampa-na-vodu-dezinfekcia-vody/?srsrtid=AfmBOoq8--1dxyb4IoeiS7bwr\\_tucptnyAOKUGzFAPVaIDQww-HLigll](https://www.biohit.sk/uv-lampa-na-vodu-dezinfekcia-vody/?srsrtid=AfmBOoq8--1dxyb4IoeiS7bwr_tucptnyAOKUGzFAPVaIDQww-HLigll)
- Bratská, Z.: *Inhibitory korózie na báze fosforečnanov a hygienické kritéria na ich aplikáciu do rozvodov pitnej vody.* - Enviroportal. – [on-line] Available on - URL: <https://pitnavoda.enviroportal.sk/inhibitory-korozie-na-baze-fosforecnanov-a-hygienicke-kriteria.html>
- Cvelihárová, D. & Pauliková, A., 2019. *Legislatívna podpora pre zabezpečenie požadovanej kvality vody v distribučných systémoch.* - In: Globálne existenciálne riziká 2019. ISBN 978-80-

<sup>7</sup>BioHit. UV lampa na vodu - dezinfekcia vody. – [on-line] Available on - URL: [https://www.biohit.sk/uv-lampa-na-vodu-dezinfekcia-vody/?srsrtid=AfmBOoq8--1dxyb4IoeiS7bwr\\_tucptnyAOKUGzFAPVaIDQww-HLigll](https://www.biohit.sk/uv-lampa-na-vodu-dezinfekcia-vody/?srsrtid=AfmBOoq8--1dxyb4IoeiS7bwr_tucptnyAOKUGzFAPVaIDQww-HLigll)

- 89753-35-2. Žilina: Strix, pp. 114-124. – [on-line] Available on - URL:  
[https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2019\\_conference\\_GER\\_p-114\\_CveliharovaD\\_PaulikovaA\\_f4a.pdf](https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2019_conference_GER_p-114_CveliharovaD_PaulikovaA_f4a.pdf)
- Predajnianska, A. & Takács, J., 2021. The Possibility of Using the Energy Potential of Waste Pool Water. - In GEOLINKS 2021. Book 1, volume 3, extended version: Air Pollution and Climate Change, Biotechnologies, Environmental Geology, Soil Science, Water Resources , conference proceedings. 17-18 May 2021, Sofia : SAIMA Consult, 2021, s. 481-487. ISSN 2603-5472. ISBN 978- 619-7495-17-1., DOI: 10.32008/geolinks2021/b1/v3/53, - [on-line] Available on - URL: <https://m.booksci.cn/literature/121455458.htm>
- Štambuk–Giljanović N. & Štambuk D. 2005. *Information subsystem of the Ca/Mg ratio as a database for studying its influence on human health*. - Journal of Medical Systems, 29, 581– 588, 2005.
- Vendel, M. & Rasmuson, Å. C., 1997. *Mechanisms of initiation of incrustation*. *AIChE Journal*, 43(5), 1300–1308. doi:10.1002/aic.690430518