



Ústav chemických procesů  
AV ČR, v. v. i.



VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE



# Pyrolýza jako efektivní řešení odstraňování organických mikropolutantů z čistírenských kalů

Doc. Ing. Michael Pohořelý, Ph.D.



0000-0001-8803-8131



H-3505-2014



6506380037

## Evropská legislativa – sludge char (biochar na bázi ČK)

### STRUBIAS report

Dokument řešící problematiku regenerace živin z vysrážených solí (struvitů), biocharů a popelů z recyklovaných nebo organických materiálů, včetně ČK

implementace do nařízení  
2019/1009/EU

Vysrážené soli na bázi ČK

Popely na bázi ČK

Sludge char

Sludge char

### Nařízení 2019/1009/EU

EU pravidla pro dodávání hnojivých výrobků EU (CE hnojiva) na trh

### předběžná opatnost

Zákaz používání ČK na výrobu CE hnojiv od 7/2022 – kompost a digestát

### předběžná opatnost

ČK není vhodný pro výrobu sludge charu pro CE hnojiva z důvodu obavy o neodstranění organických polutantů

Sludge char zatím vyjmut z materiálů vhodných pro výrobu CE hnojiv

2

## Česká legislativa – sludge char

Zákon č. 156/1998 Sb.

Vyhláška č. 474/2000 Sb.

Novelizace vyhlášky  
č. 474/2000 Sb. 10/2021

Stanovení limitních hodnot  
rizikových prvků

Limity pro popele ze  
samostatného spalování  
biomasy, produkty získané  
procesem pyrolýzy

Sludge char je možné na  
vnitřním trhu ČR používat

	Cd	Pb	Hg	As	Cr	PAH <sub>12</sub>
Vyhláška č. 474/2000 Sb. [mg.kg <sup>-1</sup> DM]	5.00	100	0.50	30.0	100	20.0

PAH<sub>12</sub> – suma anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, phenanthrene, fluoranthene, chrysene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, a pyrene

3

## Organické polutanty v ČR

### Původ průmyslový i z domácností

- Persistentní organické polutanty (POPs) – PAU/PAHs, PCBs, PCDD/Fs, PFASs, ...
- Farmaceutika a produkty osobní péče (PPCPs)
- Endokrinní disruptory (hormonální látky)

4

## PFASs – problematika

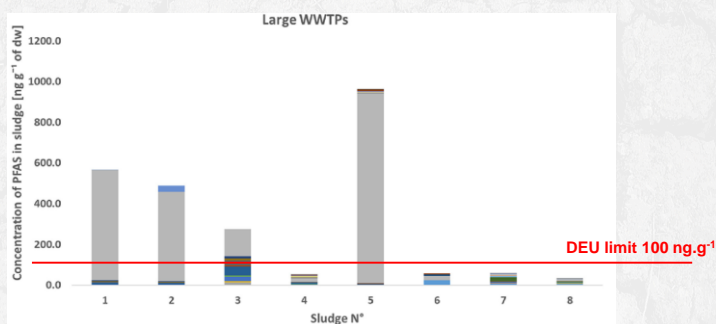
### PFASs – per- a polyfluorované alkylové sloučeniny

- Široce používané látky v textilním, metalurgickém, plastikářském, obalovém průmyslu, výroba hasících pěn nebo polovodičů
  - celá škála vlastností: nízké povrchové napětí, nehořlavost, hydrofobnost, oleofobnost, dobrá tepelná vodivost.
- Zdravotní riziko: rakovina jater nebo močového měchýře, zvýšená hladina cholesterolu, poškození jater nebo plodu v těle matky.
- V životním prostředí vysoce perzistentní – stabilní vazba C-F
- EU – snaha o omezení: **Strategie pro udržitelnost v oblasti chemických látek**
  - příprava plánu na omezení PFASs v rámci EU (výzkum, dopady, legislativa, zákazy, financování, inovace).

Glöge, J., Scheringer, M., T. Cousins, I., C. DeWitt, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., A. Ng, C., Trier, X., Wang, Z., 2020. An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environ. Sci. Process. Impacts 22, 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>  
 FENTON, Suzanne E., Alan DUCATMAN, Alan BOOBIS, Jamie C. DEWITT, Christopher LAU, Carla NG, James S. SMITH a Stephen M. ROBERTS, 2021. Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. Environmental Toxicology and Chemistry [online]. 40(3), 605–630. ISSN 1552-8618. Dostupné z: [doi:10.1002/etc.4890](https://doi.org/10.1002/etc.4890)  
 Strategie pro udržitelnost v oblasti chemických látek (EUR-Lex - 52020DC0667), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=COM%3A2020%3A667%3AFIN>

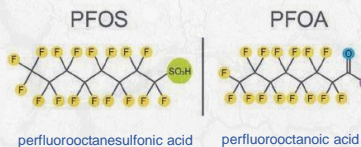
## PFASs v ČR v České republice

Široké použití se projevuje na obsah PFASs v ČR



DEU limit: suma PFOA a PFOS

large WWTP: > 50 000 EO



Semerád, J., Hatasová, N., Grasserová, A., Černá, T., Filipová, A., Hanč, A., Innemanová, P., Pivokonský, M., Cajthaml, T., 2020. Screening for 32 per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) including GenX in sludges from 43 WWTPs located in the Czech Republic - Evaluation of potential accumulation in vegetables after application of biosolids. Chemosphere 261, 128018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128018>.

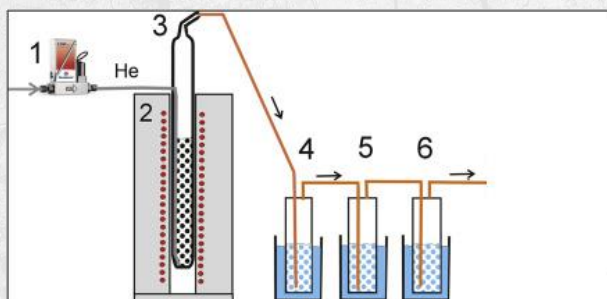


## Termochemické zpracování

- Mono-spalování
  - známá technologie, **produkce popela (nutné další zpracování)**.
- Spolu-spalování
  - **přechodné řešení**.
- **Pyrolýza**
  - produkce sludge charu (N, P; pomocná půdní látka),
  - decentralizované řešení pro „odlehle oblasti“,
  - vhodné pro zpracování kalů bez vysokého obsahu těžkých kovů.

Hušek, M., Moško, J., Pohořelý, M., 2022. Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. J. Environ. Manage. 315, 115090. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115090> 7

## Experiment



*Schéma pyrolýzní aparatury: 1 – průtokoměr, 2 – pec, 3 – keramický/nerezový reaktor, 4–6 – promývací baňky s acetonem chlazené v ledové lázni*

Léčiva a látky pro osobní hygienu, PCBs, PAHs, endokrinní disruptory (hormony), PFASs

400 (200)–800 °C

Moško, J., Pohořelý, M., Cajthaml, T., Jeremiáš, M., Robles-Aguilar, A.A., Skobla, S., Beňo, Z., Innemanová, P., Linhartová, L., Michalíková, K., Meers, E., 2021. Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. Chemosphere 265, 129062. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129062> 8

## Výsledky – PPCPs

- odstranění při středních teplotách
- 95% míra odstranění: kolem 400 °C
- analýza: PPCPs (26) max. ibuprofen – 51,7 ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>; EDs (7) max. triclosan – 2 236 ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>

*Content of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in sludge char*

	sewage sludge	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C
∑ PPCPs [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	91.6	ND	ND	ND	ND	ND

*Content of endocrine disruptors (EDs) in sludge char (e.g. hormonal compounds)*

	sewage sludge	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C
∑ EDs [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	3 288	32.1	8.77	5.26	8.09	12.8
removal rate	–	99.0%	99.7%	99.8%	99.8%	99.6%

Moško, J., Pohořelý, M., Cajthaml, T., Jeremiáš, M., Robles-Aguilar, A.A., Skobla, S., Beňo, Z., Innemanová, P., Linhartová, L., Michalíková, K., Meers, E., 2021. Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. *Chemosphere* 265, 129082. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129082>

## Výsledky – PCBs, PAHs

- odstranění při vyšších teplotách
- 95% míra odstranění: nad 600 °C (PCBs), 500 °C (PAHs)
- analýza: PCBs (104) max. PCB kongener č. 132 (2,2',3,3',4,6') – 93,7 ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>; PAHs (16) max. fluoranthen – 5 609 ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>

*Content of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sludge char*

	sewage sludge	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C
∑ PCBs [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	274	26.6	14.9	0.32	ND
removal rate	–	90.3%	94.6%	99.9%	99.9%

*Content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sludge char*

	sewage sludge	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C
∑ PAHs [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	35 503*	8 666	666	1 187	ND	53.1
removal rate	–	75.6%	98.1%	96.7%	99.9%	99.9%

\* highly contaminated sewage sludge

Moško, J., Pohořelý, M., Cajthaml, T., Jeremiáš, M., Robles-Aguilar, A.A., Skobla, S., Beňo, Z., Innemanová, P., Linhartová, L., Michalíková, K., Meers, E., 2021. Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. *Chemosphere* 265, 129082. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129082>

## Výsledky – PFASs

- rozložitelnost při středních teplotách
- 95% míra rozkladu: kolem 400 °C
- Analýza: PFASs (37) max. PFOS – 167 ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>

*Average concentration of PFASs in sludge char (in dry matter)*

	sewage sludge	200 °C	250 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
∑18 PFASs [ng.g <sup>-1</sup> ]	204	120	109	102	1,39	0,56	< LOD	< LOD
removal rate [%]	–	41.3 %	46.6 %	49.8 %	99.3 %	99.7 %	–	–

LOD < 0.40 ng.g<sup>-1</sup>

11

## Ověření výsledků – ČOV Bohuslavice Trutnov

- Pyrolýzní jednotka provozovaná při teplotě okolo 600 °C, v provozu od roku 2020 (kolaudována 10/2021)



GPS: 50.5531247N, 15.9723900E

Zdroj mapy: Mapy.cz

12



## Ověření výsledků – ČOV Bohuslavice Trutnov

Pyrolýzní jednotka provozovaná při teplotě okolo 600 °C

*Content of different organic pollutants in sludge and char*

	PPCP <sub>36</sub>	ED <sub>14</sub>	PAH <sub>16</sub>	PCB <sub>7</sub>
Dry sewage sludge [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	2 224	840	6 770	55.2
Sludge char [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	2.35	< LOD	< LOD	< LOD

13

## Ověření výsledků – ČOV Bohuslavice Trutnov

Pyrolýzní jednotka provozovaná při teplotě okolo 600 °C

*PFASs content in dry sludge and char from Bohuslavice Trutnov WWTP*

	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUdA
Dry sewage sludge [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	2.35	9.19	1.55	0.66	2.70	8.03	5.34
Sludge char [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	–	1.29	–	–	–	–	–
	PFDoA	PFTrDA	PFTeDA	PFHpS	PFOS	5:3 FTA	10:2 FTS
Dry sewage sludge [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	12.5	4.88	4.36	2.89	11.7	32.5	1.94
Sludge char [ng.g <sup>-1</sup> <sub>DM</sub> ]	–	–	–	–	–	–	–
<b>Dry sewage sludge [ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>]</b>	<b>101</b>						
<b>Sludge char [ng.g<sup>-1</sup><sub>DM</sub>]</b>	<b>1.29</b>						

Celkově analyzováno 37 různých PFASs

14

## Závěr

- Minimální požadovaná teplota zpracování 500 °C
  - odstranění organických polutantů, zaručené kvalita sludge charu, zachování energetické bilance.
- Technologie vhodná pouze pro kaly s nízkým obsahem těžkých kovů (riziko jejich koncentrace).
- Sludge char z ČOV Trutnov Bohuslavice od 7. 3. 2022 certifikovaný jako pomocná půdní látka, obchodní název Karbofert T1

	Cd	Pb	Hg	As	Cr	PAH <sub>12</sub>
Vyhláška č. 474/2000 Sb. [mg.kg <sup>-1</sup> DM]	5.00	100	0.50	30.0	100	20.0
Sludge char ČOV Bohuslavice [mg.kg <sup>-1</sup> DM]	0.46	57.2	0.003	2.94	74.1	< 0.50

PAH<sub>12</sub> – suma anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, phenanthrene, fluoranthene, chrysene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene a pyrene

15

## Dopady naší práce



### Evropská platforma pro udržitelný fosfor

- Celem 40 řádných členů
- Dosah v rámci celé Evropy

### ESPP eNews no. 52 - March 2021

#### Organic contaminants eliminated in sewage sludge biochar

Tests with sewage sludge show that pyrolysis at 400°C (2 hours) remove pharmaceuticals to below detection limits. Pyrolysis at 700°C (2 hours) also eliminated 99% of PVBs, PAHs and EDC/Hc\*. The sewage sludge was from a 500 000 p.e. municipal sewage works in the Czech Republic operating chemical P-removal, after mesophilic anaerobic digestion, centrifuge dewatering and then dried in a paddle dryer (100°C, 3 hours). Pyrolysis was carried out in the laboratory on 100g samples of dried sludge, particle size 0.5 - 2 mm, in a quartz fixed-bed reactor, and was tested at 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C in oxygen-free conditions (under helium). The sludge H/C-org ratio was 1.75 and this was reduced to H/C-org <0.7 in >= 500°C biochars, that is conform to the EU Fertilising Products Regulation (draft) STRUBIAS criteria.

Removal of PCBs may not be relevant in that total PCBs in the sewage sludge were ~ 300 ng/g; levels were reduced to < 30 ng/g in the biochars. Pyrolysis at >= 500°C reduced levels of PHM from 36 µg/g in the dried sludge to around 1 µg/g, that is significantly lower than the 6 µg/g limit proposed in the EU Fertilising Products Regulation (draft) STRUBIAS criteria. Only three EDC-Hs were found in the sludge: bisphenol A, oestradiol, triclosan. Of these, only bisphenol was detectable in any of the biochars, and was reduced from > 1 000 ng/g in the dried sludge to c. 10 ng/g event with >= 500°C pyrolysis. Nine of the twenty-seven pharmaceuticals tested were found in the dried sewage sludge (concentrations 0.1 - 50 ng/g) and all were non-detectable in all of the biochars.

The authors suggest that pyrolysis at >= 400°C for 2 hours is sufficient to ensure complete elimination of the studied pharmaceuticals from sewage sludge biochars. Based on fact that 700°C (2 hours) was sufficient to remove 99.8% of the other organic contaminants tested, the authors suggest the sewage sludge pyrolysis at temperatures higher than 600°C with sufficient residence time (> 30 min) should ensure efficient organic pollution removal. However, this is based on the limited number of different pharmaceuticals found in this sludge and on a limited number of other organic molecules. Also, the study did not assess whether the pyrolysis may have decomposed the pharmaceuticals or other organic contaminants into breakdown products, nor whether microplastics were eliminated. Therefore, further investigations into these questions are recommended.

\* PCB = polychlorinated biphenyls; PAH = polycyclic aromatic hydrocarbons; EDC-H = endocrine disrupting chemical or hormone

\*Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge\*, J. Mosko et al., Chemosphere 265 (2022) 129062

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129062>

16



## Dopady naší práce

Chemistry 20 (2021) 10984

Contents lists available at ScienceDirect

Chemosphere

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/chemosphere](http://www.elsevier.com/locate/chemosphere)

**Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge**

Jaroslav Moško<sup>1,2,3,4</sup>, Michael Pohořelý<sup>1,2,3,4</sup>, Tomáš Cajtham<sup>5,6</sup>, Michal Jeremiáš<sup>6,7</sup>, Ana A. Robles-Aguiar<sup>8</sup>, Svatbě Skobliová<sup>9</sup>, Zdeněk Beňo<sup>9</sup>, Petra Immenová<sup>9</sup>, Lucie Linhartová<sup>10</sup>, Klára Michalíková<sup>11</sup>, Erik Meers<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Department of Power Engineering, 4. Department of Gases and Solid Fuels and Air Protection, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>2</sup>Department of Green Chemistry and Technology, Faculty of Biotechnology, Chemical University, Cukrova 128, 165 00, Prague 6, Czech Republic  
<sup>3</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Chemical Process Fundamentals, Rozkošná 135, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>4</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Environmental Sciences, Institute 801, 162 06, Prague 6, Czech Republic  
<sup>5</sup>Institute for Environmental Studies, Faculty of Science, Charles University, Bežová 2, 128 21, Prague 2, Czech Republic  
<sup>6</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Plasma Physics, Za Slovankou 17923, 166 18, Prague 6, Czech Republic

MDPI

Article

**Detailed Analysis of Sewage Sludge Pyrolysis Gas: Effect of Pyrolysis Temperature**

Jaroslav Moško<sup>1,2,3,4</sup>, Michael Pohořelý<sup>1,2,3,4</sup>, Svatbě Skobliová<sup>9</sup>, Zdeněk Beňo<sup>9</sup> and Michal Jeremiáš<sup>1,4</sup>

- 1 Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague, Czech Republic; Jaroslav.Mosko@uct.cz (J.M.); Svatbe.Skobliova@uct.cz (S.S.); Zdenek.Beno@uct.cz (Z.B.); Michal.Jeremias@uct.cz (M.J.)
- 2 Institute of Chemical Process Fundamentals of the Czech Academy of Sciences, v. v. i., Rozkošná 135, 16620, Prague, Czech Republic
- 3 Department of Green Chemistry and Technology, Faculty of Biotechnology Engineering, Chemical University, Cukrova 128, 165 00, Prague 6, Czech Republic
- 4 Institute of Plasma Physics of the Czech Academy of Sciences, v. v. i., Za Slovankou 17923, 16620, Prague, Czech Republic

\* Correspondence: [pohorel@uct.cz](mailto:pohorel@uct.cz)

Received: 30 June 2020; Accepted: 4 August 2020; Published: 6 August 2020

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 156 (2021) 105880

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jaap](http://www.elsevier.com/locate/jaap)

**Structural and chemical changes of sludge derived pyrolysis char prepared under different process temperatures**

Jaroslav Moško<sup>1,2,3,4</sup>, Michael Pohořelý<sup>1,2,3,4</sup>, Svatbě Skobliová<sup>9</sup>, Radek Faigaz<sup>9</sup>, Pavel Straka<sup>9</sup>, Karel Soskup<sup>9</sup>, Zdeněk Beňo<sup>9</sup>, Josef Farták<sup>9</sup>, Olga Bisková<sup>9</sup>, Michal Jeremiáš<sup>10</sup>, Michal Syc<sup>9</sup>, Erik Meers<sup>12</sup>

<sup>1</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Chemical Process Fundamentals, Rozkošná 135, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>2</sup>Department of Power Engineering, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>3</sup>Department of Green Chemistry and Technology, Faculty of Biotechnology Engineering, Chemical University, Cukrova 128, 165 00, Prague 6, Czech Republic  
<sup>4</sup>Department of Gases and Solid Fuels and Air Protection, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>9</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Plasma Physics and Materials, V Holešovičkách 41, 128 18, Prague 6, Czech Republic  
<sup>10</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Plasma Physics, Za Slovankou 17923, 166 18, Prague 6, Czech Republic

Journal of Environmental Management 253 (2020) 110260

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Management

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman)

**Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art**

Matěj Hušek<sup>1,2</sup>, Jaroslav Moško<sup>1,2</sup>, Michael Pohořelý<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Department of Power Engineering, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>2</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Chemical Process Fundamentals, Rozkošná 135, 166 28, Prague 6, Czech Republic

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 161 (2020) 104307

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jaap](http://www.elsevier.com/locate/jaap)

**Residual moisture in the sewage sludge feed significantly affects the pyrolysis process: Simulation of continuous process in a batch reactor**

Jaroslav Moško<sup>1,2,3,4</sup>, Michal Jeremiáš<sup>1,2,3,4</sup>, Svatbě Skobliová<sup>9</sup>, Zdeněk Beňo<sup>9</sup>, Vineet Singh Sikarwar<sup>5,6</sup>, Matěj Hušek<sup>1,2</sup>, Huihong Wang<sup>7,8</sup>, Michael Pohořelý<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Department of Power Engineering, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>2</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Chemical Process Fundamentals, Rozkošná 135, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>3</sup>Department of Green Chemistry and Technology, Faculty of Biotechnology Engineering, Chemical University, Cukrova 128, 165 00, Prague 6, Czech Republic  
<sup>4</sup>The Czech Academy of Sciences, Institute of Plasma Physics, Za Slovankou 17923, 166 18, Prague 6, Czech Republic  
<sup>5</sup>Department of Chemical Engineering and Technology, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>6</sup>Department of Environmental and Energy Engineering, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology, Prague, Technická 5, 166 28, Prague 6, Czech Republic  
<sup>7</sup>Department of Chemical Engineering, School of Chemical Engineering, School of Environmental and Chemical Engineering, Tianjin University, Tianjin, China  
<sup>8</sup>Department of Environmental Engineering, School of Environmental and Chemical Engineering, Tianjin University, Tianjin, China

**Ústav chemických procesů  
AV ČR, v. v. i.**

**Michael Pohořelý**

Rozvojová 1/135  
165 02 Praha 6  
Česká republika  
web: [www.icpf.cas.cz](http://www.icpf.cas.cz)

[pohorely@icpf.cas.cz](mailto:pohorely@icpf.cas.cz)

**VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE**

**Michael Pohořelý**

Technická 5  
166 28 Praha 6  
Česká republika  
web: [www.vscht.cz](http://www.vscht.cz)

[pohorelm@vscht.cz](mailto:pohorelm@vscht.cz)

**Michael Pohořelý**

Rozvojová 1/135  
165 02 Praha 6  
Česká republika  
web: [www.cpga.cz](http://www.cpga.cz)

[info@cpga.cz](mailto:info@cpga.cz)

Práce vznikla díky finanční podpoře projektu Komplexní posouzení aplikace upravených čistírenských kalů v zemědělství s ohledem na mikropolutanty – QK21020022, projektu AV21 – Udržitelná energetika, a v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A1\_FTOP\_2022\_001 a projekt č. A2\_FTOP\_2022\_003.

Poděkování patří členům řešitelského týmu Jaroslavu Moškovi, Matějovi Huškovi, Sergeju Skobliovi, Zdeňku Beňovi, a dále partnerským týmům Tomáše Cajthamla a Michaela Komárka spolupracujícím na řešení dané problematiky.