

Sušení a pyrolýza na ČOV Trutnov – první výsledky zkušebního provozu

Jaroslav Fuka, Miroslav Kos, Michael Pohořelý

Úvod

Vodovody a kanalizace Trutnov, a. s., převzaly od dodavatele HST Hydrosystémy s. r. o. v září roku 2020 do zkušebního provozu technologickou linku na termické zpracování čistírenského kalu, zahrnující nízkoteplotní sušárnu a pyrolýzní jednotku. Tento projekt ČOV Trutnov-Bohuslavice – kalová koncovka je spolufinancován Evropskou unií v rámci Operačního programu Životní prostředí.

Technologická linka (sušárna ELIQUO + pyrolýzér PYREG) zabezpečuje roční zpracování 3 700 t odvodněného čistírenského kalu na biochar. Celkové způsobilé výdaje činily 58,3 mil. Kč. V rámci procesu se sníží hmotnost a objem kalů, organické mikropolutanty obsažené v kalu jsou termicky destruovány a zároveň se procesem pyrolýzy sequestruje část uhlíku do stabilní formy, což významně přispěje ke snížení uhlíkové stopy a přispívá k ochraně životního prostředí.

Zařízení je první svého druhu v České republice a vyprodukováný biochar se předpokládá registrovat jako pomocnou půdní látku nebo hnojivo.

Hlavní cíle zkušebního provozu

Hlavním cílem, jako u každého zkušebního provozu, je ověřit projektované parametry a splnit podmínky pro zkušební provoz. Při testování sestavy nízkoteplotní sušárny – pyrolýzér šlo o tyto cíle:

- akreditovanými a autorizovanými metodami a postupy prokázat splnění podmínek provozu z hlediska kvality emisí (u spalování primárního pyrolýzního plynu) a celkového hmotnostního toku ve smyslu požadavků zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, vyhlášky č. 415/2012 Sb., přílohy 4, respektive v rozsahu rozhodnutí Královéhradeckého kraje č. j. KUKHR-19331/ZP/2020-5,
- prokázat kvalitu výsledného biocharu z hlediska možnosti jeho registrace jako pomocné půdní látky nebo hnojiva,
- vypracovat hmotovou a tepelnou bilanci procesu, neboť jedním z hlavních cílů projektu bylo zajištění pokrytí tepelné spotřeby nízkoteplotní sušárny z cca 30 %.

Karbonizovaný materiál na bázi čistírenského kalu nemá v současné době v ČR jednotné normativní/legislativní pojme-

nování. V textu je daný materiál diskutován jako biochar. V české odborné literatuře se lze taky setkat se synonymy karbochar, karbonizovaný kal, biochar na bázi čistírenského kalu, sludgechar, kalouhel, případně kalochar.

Popis technologie

Před zahájením vlastního zkušebního provozu proběhly komplexní a garanční zkoušky nízkoteplotní sušárny EloDry NT-16 firmy Eliquo-Stulz včetně rekuperátoru, odtahového ventilátoru a pračky vzduchu. Rovněž byly provedeny komplexní a garanční zkoušky pyrolýzérů P500 KSF firmy PYREG, který se skládá ze dvou kontejnerů – hlavního a technického (čištění spalin) – umístěných na sobě. Zařízení (sušárna + pyrolýzér) je implementováno do systému řízení celé čistírny. Na čistírnu nejsou dováženy odvodněné kaly z jiného zdroje, proto zde není instalován kalový bunkr.

Zahuštěný kal z vyhnívacích nádrží je odvodňován na nově instalované odstředivce na obsah sušiny cca 24 %. Odvodněný kal je následně od odstředivky dopravován šnekovým dopravníkem přímo do distributoru nízkoteplotní sušárny (násypky).

Nízkoteplotní pásová sušárna v kontejnerovém provedení má maximální roční výkon 4 500 t odvodněného kalu při vstupní sušině 25 %. Z násypky sušárny je kal rovnoměrně dávkován na prodýšný sušící pás, který se pomalu pohybuje v proudu horkého vzduchu. Sušící vzduch proudí kolem odvodněného kalu, voda z kalu se vypařuje a sušící vzduch přebírá odpařenou vodu a transportuje ji mimo sušárnu. Usušený kal je z výstupu sušárny dopravován přímo do násypky pyrolýzérů nebo v případě potřeby do dvou úložných kontejnerů na sušený kal. Kondenzát z tepelného výměníku i mokré pračky je připojen na potrubí fugátu od odstředivky a je odváděn do retenční nádrže fugátu. Z této nádrže je následně přečerpáván do regenerace vratného aktivovaného kalu.

Sušárna je v současné době vytápěna převážně z výměníku horké vody z horkovodu a dále odpadním teplem z kogenerace a/nebo teplem z kotle na bioplyn. Používaným topným médiem je horká voda o teplotním spádu 90/70 °C. Dalším zdrojem tepelé vody je odpadní teplo z výměníku pyrolýzérů, které je přiváděno potrubím přímo na vstup horké vody do sušárny. Rekupe-

Tabulka 1: Emisní limity pro znečišťující látky a denní průměry sledovaných polutantů zjištěné kontinuálním měřením dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. Střední hmotnostní koncentrace v suchém plynu za normálních termodynamických podmínek (101 325 Pa, 0 °C), přepočtené na referenční kyslík 11 %

Emisní limit Látka	Rozměr	Stanovené emisní limity – rozhodnutí			Výsledek sledování Denní průměr
		Denní průměr	Půlhodinové průměry 97 %	100 %	
tuhé znečišťující látky TZL	mg · m ⁻³	10	10	30	2
NO _x	mg · m ⁻³	200	200	400	150
těkavé organické látky jako celkový organický uhlík TOC	mg · m ⁻³	10	10	20	3
CO	mg · m ⁻³	50	–	–	15

rační výměník vzduch/vzduch za sušárnou využívá teplotu odplynů cca 60 °C pro předehřívání čerstvého vzduchu nasávaného do sušárny z místnosti, kde je sušárna umístěna. Za výměníkem je umístěna mokrá pračka vzduchu s kyselým praním, která odstraňuje ze vzduchu především amoniak. V pračce je vzduch promýván, následně dochází k odlučování kapek a vypuštění do výduchu. Vzniklý kondenzát je odváděn do potrubí fugátu.

Sušený kal je šnekovým dopravníkem transportován do násypky pyrolyzéry PYREG P500, ze které vstupuje prostřednictvím lopatkového hermetického podavače do pyrolýzní jednotky. Hermetický podavač zároveň minimalizuje vstup vzduchu do pyrolýzního reaktoru.

Reaktor je tvořen vnitřní a vnější částí:

- ve vnitřní části je kal pomocí šnekového dopravníku posouván a tepelně rozkládán,
- ve vnějším plášti proudí spaliny o teplotě 800–900 °C, které zajišťují kritickou teplotu karbonizace (pyrolýzy/autotermního zplynění) kalu (500–650 °C) ve vnitřním prostoru pyrolyzéry.

Při této teplotě karbonizace dochází k volatilizaci prchavých podílů hořlaviny a zbytkové vody, čímž vzniká tzv. primární pyrolýzní plyn, který je spalován ve spalovací komoře FLOX®. Tímto unikátním uspořádáním je docíleno, že pyrolýzní reaktor od firmy PYREG nepotřebuje ke své funkci další dodatečnou energii – vyjma elektrické energie pro pohon zařízení (max. 12 kW). Zavedením primárního pyrolýzního plynu přímo do spalovací komory FLOX® se zabráňuje snížení teploty primárního pyrolýzního plynu pod rosný bod organického podílu, zabráňuje se tedy vzniku pyrolýzního kondenzátu, tzv. bio-oleje, jako u klasických pyrolyzérů.

Výsledný produkt (biochar) je následně z technologie PYREG vynášen opět pomocí lopatkového hermetického podavače, který zamezuje vstupu vzduchu do reaktoru. Čistírenský kal je dokonale zkarbonizován – výsledné analýzy neprokázaly přítomnost PAU ($PAU_{12} < 0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

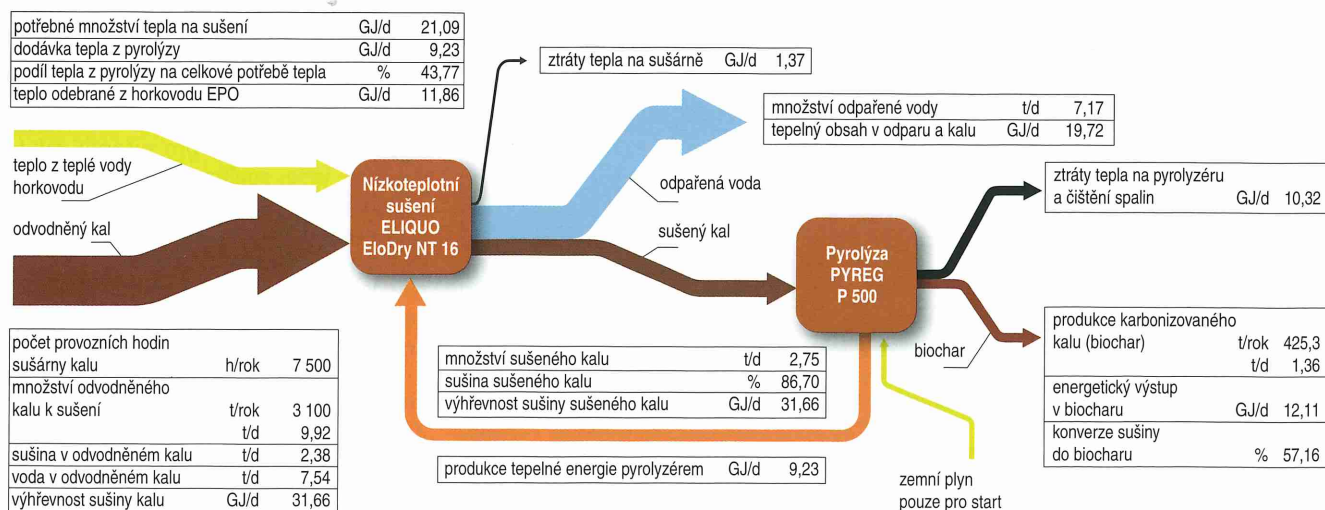
Z důvodu bezpečnosti je biochar zvlhčován, aby nedošlo k jeho samovolnému vznícení, proto teplota produktu ve vynášecím dopravníku dosahuje pouze cca 50 °C. Sušinu materiálu lze nastavovat intenzitou skrápění na výstupu, obvyklý rozsah je 86–93 % sušiny. Snížení spotře-

Tabulka 2: Emisní limity pro znečišťující látky a střední koncentrace sledovaných polutantů zjištěné jednorázovým měřením dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. Střední hmotnostní koncentrace v suchém plynu za normálních termodynamických podmínek (101 325 Pa, 0° C), přepočtené na referenční kyslík 11 %

Látka	Rozměr	Emisní limit	Zjištěné střední koncentrace
SO ₂	mg · m ⁻³	50	< 8
HF	mg · m ⁻³	1	0,08
HCl	mg · m ⁻³	10	3
Σ As Co Cr Cu Mn Ni Pb Sb V	mg · m ⁻³	0,5	0,021
Σ Cd TI	mg · m ⁻³	0,05	< 0,005
Hg	mg · m ⁻³	0,05	0,009
PCDD/PCDF	ng · m ⁻³	0,1 TEQ	0,0018

Tabulka 3: Palivo-energetické a funkční vlastnosti sušeného kalu a biocharu

Parametr	Rozměr	Sušený kal	Biochar
sypaná hmotnost	g · dm ⁻³	531	578
podíl prachové frakce pod 1 mm	%	4,2	11,7
podíl prachové frakce pod 0,5 mm	%	1,1	4,1
specifický povrch, S _{BET}	m ² · g ⁻¹	1,6	15,2
vlhkost, W	% hm.	13,3	17,7
popel, A ^d	% hm.	40,3	70,5
prchavá hořlavina, V ^d	% hm.	50,1	10,0
spalné teplo, Q _s ^d	MJ · kg ⁻¹	14,3	9,1
výhřevnost, Q _i ^d	MJ · kg ⁻¹	13,3	8,9
obsah uhlíku, C ^d	% hm.	32,3	24,5
obsah vodíku, H ^d	% hm.	4,4	0,8
obsah dusíku, N ^d	% hm.	3,9	2,3
obsah kyslíku, O ^d	% hm.	18,4	1,2
obsah celkové síry, S ^d	% hm.	0,8	0,8
H/C	–	1,62	0,40
O/C	–	0,43	0,04



Obr. 1: Hmotová a tepelná bilance technologie: nízkoteplotní sušárna a pyrolyzér na ČOV Trutnov

by vody je předmětem navazujícího cíleného vývoje. Vzniklý biochar je porézní, obsahuje prakticky veškerý fosfor ze sušiny vstupního kalu, který je nepostradatelným prvkem pro zemědělství.

Patentovaná komora FLOX® spaluje primární pyrolýzní plyn při konstantní teplotě 1 000 až 1 100 °C. Při této teplotě

dochází k dokonalému spalování veškerých plynných částí z procesu. Nedochází tak ke vzniku žádného dalšího produktu mimo karbonizovaného kalu, tj. nevzniká žádný pyrolýzní kondenzát. Spaliny jsou čištěny trojstupňově: za vysokoteplotním výměníkem je umístěn tkaninový filtr, následuje mokrá vypírka s roztokem NaOH

a třetí stupeň je filtr s aktivním uhlím. Výstupní vyčištěné spaliny nepřekračují limity stanovené vyhláškou č. 415/2012 Sb., příloha 4, což byl jeden z cílů ověřování během zkušební provozu.

Mimo primární funkci přeměny čistírenského kalu na produkt má pyrolýzní jednotka ještě jednu podstatnou funkci – je zdrojem tepelné energie (podle technických podkladů cca 150 kW_{tep} při jmenovitém výkonu), která zásadním způsobem vylepšuje energetickou bilanci sušení kalů, neboť hlavní využití tohoto odpadního tepla z pyrolýzy je v předřazené nízkoteplotní sušárně kalů.

Výsledky dosavadního ověřování v rámci zkušební provozu

Sestava sušení a pyrolýzy kalu zahájila provoz v říjnu 2020. V únoru 2021 došlo v důsledku velkých mrazů k poškození pyrolýzoru prasklou vodou a po zprovoznění pak k poškození šneku odstředivky na zahuštění kalu, situaci zásadním způsobem komplikovala epidemiologická situace. Proto byl zkušební provoz přerušeno, obnovení zkušební provozu proběhlo od konce května 2021. Prezentované výsledky byly vyšetřeny v období říjen 2020–únor 2021. Autorizované měření emisí prezentované v rámci článku proběhlo v lednu 2021.

Emise

V souladu se zákonem č. 201/2012 Sb. bylo uloženo na této první jednotce pyrolýzy sušených kalů zajistit kontinuální měření TZL, NO_x, TOC a CO. Měření HCl, HF a SO₂ bylo podle zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, přílohy 4, části B, bod 4 a 5 uloženo provádět jednorázově. Na zdroji je tedy kromě kontinuálního měření prováděno jednorázové měření HCl, HF, SO₂ a všech zákonem stanovených těžkých kovů, arsenu a PCDD/F.

Veškerý vyvinutý primární pyrolýzní plyn je spálen pomocí speciálního hořáku FLOX® ve spalovací komoře za teploty až 1 100 °C. Spaliny jsou vedeny přímo k ohřevu pláště pyrolýzoru, zbytkové teplo je vedeno přes 2 spalínové výměníky k produkci teplé vody pro sušárnu. Jak je uvedeno výše, spaliny jsou čištěny trojstupňově: za vysokoteplotním výměníkem je umístěn tkaninový filtr, následuje mokrá vypírka s roztokem NaOH a třetí stupeň je filtr s aktivním uhlím. Akreditovanou zkoušku provedla společnost Technické služby ochrany ovzduší Praha, a.s. (Protokol o autorizovaném měření emisí a o akreditované zkoušce č. T/4447/20/00, Technické služby ochrany ovzduší Praha, a.s., únor 2021). Autorizované měření proběhlo při průměrném zatížení pyrolýzoru sušeným kalem 81 kg.h⁻¹ (tj. 1 944 kg.d⁻¹).

Tabulka 4: Koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) a halogenovaných organických sloučenin (AOX)

Parametr	Rozměr	Sušený kal	Biochar	Vyhláška č. 437/2016 Sb.	Návrh změny vyhlášky č. 474/2000 Sb. P1 d) popele
Suma 12 PAU	mg · kg ⁻¹	6,8	< 0,5	10,0	20,0
Suma 16 PAU	mg · kg ⁻¹	6,8	< 0,5	–	–
PCB (suma 7 kongenerů – 28+52+101+118+138+153+180)	mg · kg ⁻¹	–	–	0,60	–
AOX	mg · kg ⁻¹	443	165	500	–
naftalen	mg · kg ⁻¹	< 0,05	< 0,05	–	–
acenaften	mg · kg ⁻¹	< 0,05	< 0,05	–	–
acenaftilen	mg · kg ⁻¹	< 0,20	< 0,20	–	–
fluoren	mg · kg ⁻¹	< 0,05	< 0,05	–	–
fenanthren	mg · kg ⁻¹	0,91	< 0,05	–	–
anthracen	mg · kg ⁻¹	0,08	< 0,05	–	–
fluoranthren	mg · kg ⁻¹	1,13	< 0,05	–	–
pyren	mg · kg ⁻¹	0,99	< 0,10	–	–
benzo(a)anthracen	mg · kg ⁻¹	0,66	< 0,05	–	–
chrysen	mg · kg ⁻¹	0,66	< 0,05	–	–
benzo(b)fluoranthren	mg · kg ⁻¹	0,56	< 0,05	–	–
benzo(k)fluoranthren	mg · kg ⁻¹	0,28	< 0,02	–	–
benzo(a)pyren	mg · kg ⁻¹	0,50	< 0,05	–	–
benzo(g,h,i)perylene	mg · kg ⁻¹	0,50	< 0,10	–	–
dibenzo(a,h)anthracen	mg · kg ⁻¹	< 0,10	< 0,10	–	–
indeno(1,2,3-c,d)pyren	mg · kg ⁻¹	0,49	< 0,10	–	–

Tabulka 5: Koncentrace prvků v sušeném kalu a biocharu

Parametr	Rozměr	Sušený kal	Biochar	Vyhláška č. 437/2016 Sb.*	Návrh změny vyhlášky č. 474/2000 Sb. P1 d) popele
P	mg · kg ⁻¹	21 400	39 400	–	–
K	mg · kg ⁻¹	1 550	2 860	–	–
Na	mg · kg ⁻¹	670	1 070	–	–
Ca	mg · kg ⁻¹	29 500	47 200	–	–
Mg	mg · kg ⁻¹	6 200	10 800	–	–
As	mg · kg ⁻¹	5,06	4,01	30,0	30,0
Cd	mg · kg ⁻¹	1,48	2,16	5,00	5,00
Cr	mg · kg ⁻¹	49,2	78,3	200	100
Cu	mg · kg ⁻¹	279	493	500	–
Hg	mg · kg ⁻¹	1,62	0,009	4,00	0,50
Ni	mg · kg ⁻¹	20,5	21,7	100	–
Pb	mg · kg ⁻¹	42,2	62,9	200	100
Zn	mg · kg ⁻¹	1 030	1 680	2 500	–
Fe	mg · kg ⁻¹	30 900	50 800	–	–
Al	mg · kg ⁻¹	8 080	16 400	–	–

* Hodnoty ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. odpovídají návrhu vyhlášky o podrobnostech nakládání s odpady.

Výsledné měření prokázalo splnění všech stanovených ukazatelů dle rozhodnutí Královéhradeckého kraje č. j. KUK HK-19331/ZP/2020-5 a vyhlášky č. 415/2012 Sb., a to výrazně pod stanovenými emisními limity.

Složení vyprodukovaného biocharu

Složení vyprodukovaného biocharu bylo porovnáváno se složením sušeného kalu a legislativními požadavky dle vyhlášky č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a dle vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Palivářské charakteristiky jsou uvedeny v tabulce č. 3. Hodnoty ukazují, že významná část uhlíku je fixována do biocharu, což umožňuje jeho sekvestraci. V tabulce č. 4 je jednoznačně prokázáno, že dobře provedený pyrolýzní proces spolehlivě snižuje PAU na velmi nízké hodnoty plně vyhovující požadavkům vyhlášky č. 437/2016 Sb. a návrhu změny vyhlášky č. 474/2000 Sb. Biochar je tedy schopný registrace jako pomocná půdní látka nebo jako hnojivo. Tabulka 5 následně ukazuje změny koncentrací vybraných kovů, přičemž lze konstatovat, že i přes logické zakoncentrování způsobené převedením části organického podílu do primárního pyrolýzního plynu, jsou koncentrace kovů v biocharu pod limity vyhlášky č. 437/2016 Sb., pouze Cu je na tomto limitu.

Hmotová a tepelná bilance

Během první části zkušebního provozu byly proměřeny základní parametry potřebné pro sestavení hmotové a tepelné bilance. Byly sledovány kvantitativní a kvalitativní parametry odvodněného kalu, sušeného kalu a biocharu.

Na základě naměřených hodnot byla sestavena hmotová a tepelná bilance technologické linky (nizkoteplotní sušárna a pyrolýza) pro předpokládaný průměrný zatěžovací stav.

Z bilance na obrázku 1 vyplývá, že z odvodněného kalu ($3\,100\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, sušina 24 hm. %) je vyprodukováno $425,3\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$, respektive $56,7\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ biocharu (13,7 % vstupní hmotnosti) při provozu technologické linky 7 500 hodin. U převodu sušiny odvodněného kalu do sušiny biocharu bylo dosaženo hodnoty 57,2 %. Vyhodnocení první fáze zkušebního provozu ukázalo, že pyrolýzér byl schopen pokrýt potřebu tepla v nizkoteplotní sušárně k sušení kalu na sušinu cca 86,7 %, cca ze 43,8 %.

Souhrn dosavadních poznatků

Na základě výsledku první části zkušebního provozu technologické linky na termické zpracování čistírenského kalu



Obr. 2: První provozně vyrobený biochar z čistírenského kalu v ČR vyprodukovaný na ČOV Trutnov



Obr. 3: Nizkoteplotní nekondenzační vzduchem chlazená sušárna ELIQUO EloDry NT16



Obr. 4: Pyrolýzér PYREG P500 s čištěním spalin vzniklých spálením primárního pyrolýzního plynu

zahrnující nízkoteplotní sušárnu a pyrolýzní jednotku na ČOV Trutnov-Bohuslavice lze konstatovat:

- akreditovaným měřením bylo prokázáno splnění podmínek provozu z hlediska kvality emisí, ve smyslu požadavků povolu-jícího orgánu, tj. dle vyhlášky č. 415/2012 Sb. a v rozsahu roz-hodnutí Královéhradeckého kraje č.j. KUKHR-19331/ZP/2020-5,
- bylo dosaženo významného snížení hmotnosti finálního výstupu kalového hospodářství, biochar představuje pouze 13,7 % původní hmotnosti odvodněného kalu,
- byla dosažena výborná kvalita výsledného biocharu z hlediska předpokladů pro jeho možnou registraci jako pomocné půdní látky nebo hnojiva,
- byla sestavena hmotová a tepelná bilance, která prokazuje, že pokrytí tepelné potřeby sušárny odpadním teplem z pyrolýzy je vyšší, než předpokládal projekt. Pokrytí tepelné spotřeby nízkoteplotní sušárny dosáhlo cca 43,8 %, projekt garantoval 30 %.

Poděkování

Práce vznikla díky finanční podpoře projektu AV21 – Účinná přeměna a skladování energie a v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A1_FTOP_2021_004. Za analýzy děkujeme kolegům: Ing. Zdeněk Beňo, Ph.D. Ing. Josef Farták, Ph.D., Ing. Karel Soukup, Ph.D., Ing. Sjarhei Skoblia, Ph.D. a David Černohorský. Za zpracování dat děkujeme kolegům: Ing. Matěj Hušek a Ing. Jaroslav Moško.

Práce využívá výsledky projektu TAČR TE02000077, v této souvislosti SMP CZ, a. s., působí jako Centrum kompetence Smart Region's v oblasti kalové problematiky.

Ing. Jaroslav Fuka, HST Hydrosystémy s. r. o.
Ing. Miroslav Kos, CSc., SMP CZ, a. s.
doc. Ing. Michael Pohořelý, Ph.D., VŠCHT Praha,
ÚCHP AV ČR, v. v. i., CPGA z. s.

Vodohospodářské inženýrské služby, a. s.

Křížová 472/47, 150 00 Praha 5
IČO: 6019 3689, tel. 257 182 411

- laboratoře pitných a odpadních vod
- akreditace ČIA 1213, tel. 602 389 347
- akreditace ČIA 1453, tel. 737 846 403
- projektové práce, IiČ, tel. 606 644 463
- geodetické práce, GIS, tel. 602 877 542
- inspekční prohlídky kamerou, tel. 724 151 191



Aqua Global

INTELEKTUÁLNÍ ŘEŠENÍ
FILTRACE A ÚPRAVY VODY

**VYRÁBÍME
DODÁVÁME
INSTALUJEME**

Tlakové multi-média filtry
GAU filtry
Separátory písků
Automatické samočisticí filtry
Automatické a manuální filtrační koše...

www.aquaglobal.cz



Inzerát vaší firmy v dalším vydání kalendáře SOVAK ČR 2022



Týdenní stolní kalendář výrobků a dodavatelů služeb pro obor vodovodů, který vydává Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, z. s., má již dlouholetou tradici. Vaše firma může mít reklamu v dalším vydání kalendáře pro rok 2022. Kalendář je distribuován členům SOVAK ČR, investorům, provozovatelům vodovodů a kanalizací, účastníkům odborných konferencí a seminářů SOVAK ČR, či specialistům municipalit. Více informací naleznete na

www.sovak.cz/cs/stolni-kalendar

V případě zájmu kontaktujte Ing. Ivanu Weinzettlovou Jungovou (e-mail: jungova@sovak.cz, tel.: 727 915 184).