

ZPRACOVÁNÍ ODVODNĚNÝCH VYHNILÝCH KALŮ SUŠENÍM A PYROLÝZOU NA ČOV TRUTNOV

Jaroslav Fuka, Miroslav Kos

HST Hydrosystémy s.r.o., Školní 467/14, 415 01 Teplice, Česká republika
SMP CZ, a.s., Vyskočilova 1566, 140 00 Praha 4, Česká republika

Úvod

Základním podnětem pro termické zpracování kalů byly legislativní změny v oblasti nakládání s kaly (Vyhl. 437/2016), ale především celkový vývoj názorů na vývoj kvality čistírenských kalů v EU a návazně i u nás. Je logické, že změněné podmínky pro využívání kalů budou mít technologické dopady na skladbu procesů kalového hospodářství. V roce 2019 proběhla revize směrnice o čištění odpadních vod, 91/271/EEC, který byla uvolněna po projednání na konci roku 2019 [1]. Vyplynulo z ní hlavní téma pro blízkou budoucnost – musíme se vážně zabývat prudce rostoucím koncentracím mikropolutantů ve vodě a v kalech. Zvláště závažná je rostoucí spotřeba léků a následně jejich koncentrace v kalech. Zejména farmaceutická rezidua mohou být škodlivá pro vodní a suchozemské ekosystémy. V současné době je v humánní léčivých přípravcích (lécích) k dispozici asi 2300 aktivních farmaceutických složek (AFI). Přibližně polovina z nich je z hlediska životního prostředí relevantní a může mít nepříznivé účinky na druhy životního prostředí. Spotřeba léků za posledních 10 let vzrostla o cca 20 %, v oblasti antibiotik dokonce o 40 %. Lidské léky jsou navrženy tak, aby AFI byly stabilní, a proto jsou z významné části vylučovány pacientem v aktivní formě. Mnohé z těchto léčiv nejsou snadno biologicky rozložitelné, a proto jsou nedostatečně eliminovány v městských čistírnách odpadních vod. Některé z těchto sloučenin, například antibiotika, se také akumulují v čistírenských kalech. Prostřednictvím použití čistírenského kalu jako hnojiva a jeho aplikace na zemědělské půdě se mohou AFI rozložit a jejich metabolity mohou v půdě dlouhodobě přetrvávat a ovlivňovat tak mikroorganismy a funkce půdy. AFI mohou být také přijímány plodinami a vstupují do potravinového řetězce. Kromě toho může aplikace kalového odpadu kontaminovaného antibiotiky do půdy vést k šíření rezistentních bakterií.

Výsledky studie německé firmy Civity [2] ohledně spotřeby léků a jejich vlivu na zatížení odpadních vod a kalů ukazují, že starší osoby mají významně vyšší spotřebu léků na osobu. Demografický vývoj jednoznačně směřuje k vyššímu podílu starších osob, a proto následně prudce poroste spotřeba léků (do roku 2045 až o 70 %!), a to i přes osvětu proti jejich nadužívání. I s ohledem na tuto skutečnost je pokračování zemědělské aplikace čistírenských kalů výhledově nerealné. Základem řešení je likvidace organických mikropolutantů termickým zpracováním. Nejnovější studie potvrzují [3], že termochemickými procesy (pyrolýza, zplyňování, spalování) s provozní teplotou nad 300 °C je dosaženo úplné destrukce zbytků léčiv v čistírenských kalech. Sušina odvodněných kalů je poměrně energeticky bohatá a pokud je snížen obsah vody v kalu, otevírá se cesta pro využití jeho energetického obsahu k likvidaci organických polutantů obsažených v kalech.

Na rozdíl od Nizozemí, Německa a dalších zemí západní Evropy, kde může rozhodující množství producentů čistírenského kalu využít možnost jeho spalování (v roce 2018 spalováno již více jak 70 % čistírenských kalů). V Německu v současné době sice dochází z důvodu zavírání uhelných elektráren k poměrně razantnímu zdražení k cca 120 až 170 EUR za tunu, ale s ohledem na novou legislativu, dochází k masivní výstavbě nových monospaloven čistírenských kalů. V České republice je tato možnost velice omezena, nicméně termická likvidace kalů je v ČR poměrně novou a nastupující metodou, která dlouhodobě nebyla vůbec využívána. V roce 2018 došlo k nárůstu spalování a 10 % veškerých kalů již bylo likvidováno spalováním. Vzhledem k vývoji legislativy a názorů na čistírenské kaly lze předpokládat trvalý nárůst tohoto způsobu likvidace. Pro splnění podmínek hygienizace čistírenských kalů v České republice tedy zůstává reálná možnost sušení odvodněných kalů, sušení kalů a pyrolýza nebo spalování, případně monospalování a pro větší objemy kalu pak zpracování pomocí zplyňování apod.

V současné době je v procesu evaluace směrnice 86/278 / EHS o čistírenských kalech, která byla přijata s cílem podpořit správné používání čistírenských kalů v zemědělství a regulovat jejich používání, aby se zabránilo

škodlivým účinkům na půdu, vegetaci, zvířata a lidi. Směrnice by měla být přijata v r. 2021 a předpokládá se, že dojde k podstatnému zprísnění, tzn. povinnosti likvidace mikropolutantů, mikroplastů, léků, drog a dalších látek.

V souvislosti s popsányi změnami v legislativě byla na začátku roku 2016 zadána VaK Trutnov studie kalového a plynového hospodářství.

Základní okruhy předmětu studie byly:

- Zpracování tepelné bilance vyhnívací nádrže
- Návrh opatření ke snížení tepelných ztrát, optimalizace provozu
- Zhodnocení stavu plynového hospodářství ve vztahu k výrobě elektrické energie
- Návrh opatření k zajištění legislativních podmínek z pohledu nakládání s kalu

V souladu se závěry studie bylo realizováno zateplení vyhnívací nádrže a výstavba nového plynojemu. Dále bylo navrženo vybudování nové technologické linky na hygienizaci kalu, tzn. nízkoteplotní sušárna a pyrolyzér. Výstupem celého procesu je karbonizovaný kal s vlastnostmi hnojiva nebo pomocné půdní látky s vysokým obsahem fosforu.

Navrhované technické řešení vybráno jako ekonomicky nejvýhodnější z důvodů:

- Kompaktní řešení – možnost umístění ve stávající budově – energie, voda i odvod kondenzátu na místě
- Maximální využití energie kalu, pyrolyzér pokryje až cca 60 % potřebné tepelné energie pro sušení
- Maximální redukce množství kalu (na cca 15 % objemu v případě karbonizovaného kalu)
- Totální likvidace organických mikropolutantů a dalších látek v čistírenském kalu
- Možnost dotace z fondů EU
- Možnost likvidace kalu z okolních čistíren za úplatu
- Možnost volby nejvýhodnější likvidace kalu podle momentální situace na trhu s variantním uplatněním karbonizovaného kalu do kompostáren, jako hnojivo nebo pomocná půdní látka, nebo palivo pro spalování karbonizovaného kalu jako biomasy, případně spalování usušeného kalu jako biomasy.

Projekční příprava, inženýrská činnost

Na základě přijaté studie a s ohledem na podmínky pro přijetí do dotačního programu bylo přikročeno k vypracování dokumentace pro územní řízení a pro stavební povolení. Vzhledem k tomu, že nová technologie mohla být umístěna do stávající budovy odvodnění kalu včetně nepoužívané venkovní plochy pro skladování odvodněného kalu, bylo možné projednat rovnou stavební povolení bez územního řízení. Vzhledem k novosti celé technologie bylo stavební řízení složitější a vyžadovalo větší součinnost s Krajským úřadem, a to jak z pohledu technického řešení, tak hlavně v oblasti emisních podmínek.

Bylo zpracováno oznámení záměru EIA, výsledkem projednávání bylo platné stanovisko, že není nutné provádět zjišťovací řízení. Po dohodě s KÚ bylo zažádáno na MŽP o určení zařazení pyrolyzéry jako stacionárního zdroje dle § 11 odst. 1 písm. c) zákona č. 201/2012 Sb. MŽP vydalo zamítavé stanovisko k zařazení zdroje s odůvodněním, že se nejedná o zcela novou technologii. KÚ zařadil na základě zpracovaného posudku ovzduší pyrolyzér PYREG 500 podle přílohy č.2 zákona 201/2012 Sb. jako vyjmenovaný zdroj 2.1 Tepelné zpracování odpadů ve spalovnách, což odpovídá i stanovisku MŽP-odboru odpadů. V souladu se zákonem bude muset být prováděno kontinuální měření TZL, NOx, TOC a CO. Měření HCl, HF a SO2 bude dle zákona 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší přílohy 4 zákona, části B, bodě 4 a 5 prováděno jednorázově. Na zdroji bude tedy kromě kontinuálního měření podle přílohy č. 4 zákona 201/2012 Sb., bod 1.6 prováděno jednorázové měření emisí rtuti, sumy kadmia a thalia a sumy PCDD/F. Stavební povolení bylo vydáno v únoru 2018.

Dotace

O dotaci bylo zažádáno v 69. výzvě pro prioritní osu 3 Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika pro specifický cíl 3.2.3 Výstavba a modernizace zařízení na energetické využití odpadů a související infrastruktury (možné taky 3.2.2 Výstavba a modernizace zařízení pro materiálové využití odpadů). Projekt kalové koncovky má platné stavební povolení vydané Krajským úřadem Královéhradeckého kraje jako podmínku pro přijetí žádosti.

Z uvedených příkladů podporovaných projektů a aktivit je ve vztahu k návrhu relevantní příklad:

- Výstavba/modernizace zařízení na tepelné zpracování odpadních kalů z čistíren odpadních vod (vč. znovuzískání fosforu)

- Max. podpora je uváděna 85 %, nicméně tzv. veřejná podpora (převzatá směrnice EU) výslednou dotaci snižuje až na 25 %.
- Společnosti VaK Trutnov byla přiznána dotace ve výši 25 % s ohledem na směrnici o veřejné podpoře a velikosti podniku

Popis technologie

Maximální roční produkce čistírny činí 3000 tun odvodněného kalu 25 % sušiny včetně dovezených kalů, které tvoří cca polovinu přivedeného znečištění. Počítá se s možností likvidace zahuštěného kalu z dalších menších okolních čistíren.

Sušárna kalu

Zahuštěný kal z vyhnívacích nádrží je odvodňován na nově instalované odstředivce na sušinu cca 25 %. Nová horizontální nízkoteplotní pásová sušárna v kontejnerovém provedení s maximálním výkonem 4500 tun odvodněného kalu 25 % sušiny slouží k vysušení odvodněného kalu. Sušárna je umístěna ve stávajícím objektu budovy odvodnění kalu ve II.NP v ose odstředivky. Samotná sušárna je umístěna na kovové traverzové konstrukci o výšce 80 cm, podepřené z I.NP. Odvodněný čistírenský kal je dopravován dopravníkem přímo do násypky sušárny, ve které je integrován drtič kalu. Ve vstupním zařízení sušárny je odvodněný kal rozprostřen na perforovaný prodyšný pás, který se pomalu pohybuje v proudu horkého vzduchu. Sušící vzduch proudí kolem odvodněného kalu, voda se vypařuje ze sušeného kalu a sušící vzduch přebírá odpařenou vodu a transportuje ji mimo sušárnu. Usušený kal je z výstupu sušárny dopravován buď standardně přímo do násypky pyrolyzéro nebo v případě potřeby do dvou kontejnerů (obsah cca 10 t). Kondenzát z výměníku i mokré pračky je připojen na stávající potrubí fugátu od odstředivky (kalolisu) DN 200 a dále do retenční nádrže fugátu, odkud je přečerpáván do regenerace AN.

V prostoru za sušárnou je umístěna i související technologie pro odtahovaný vzduch. Rekuperační výměník vzduch/vzduch využívá teplotu odplynů cca 60 °C pro předehřívání vzduchu nasávaného z místnosti přivedeného zpátky do sušárny. Za výměníkem je umístěna mokrá pračka vzduchu s kyselým praním, která odstraňuje ze vzduchu hlavně amoniak. V pračce je vzduch čištěn promýváním, následně odloučením kapek a odvedením kondenzátu do potrubí fugátu. Následně je vzduch odveden do komínu.

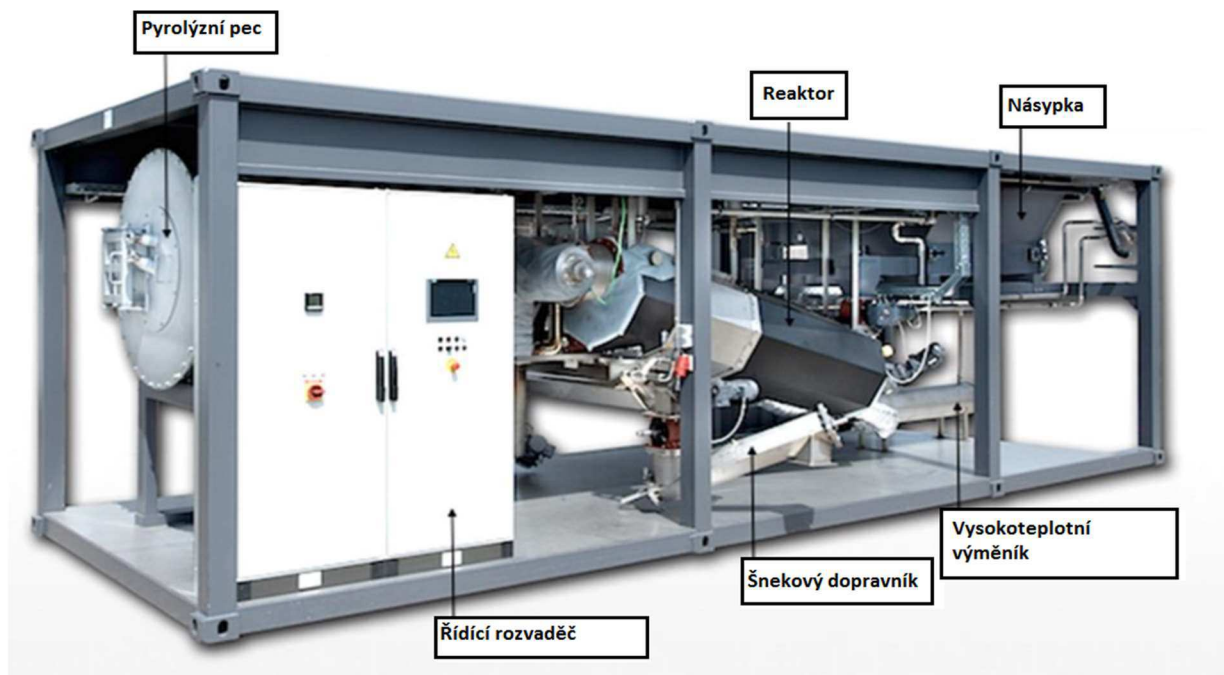
Sušárna bude vytápěna odpadním teplem z kogenerace nebo kotle na bioplyn, topným médiem bude horká voda s teplotním spádem 80 až 90/60 až 70 °C. Druhým zdrojem teplé vody bude odpadní teplo z výměníku pyrolyzéro, které je přivedeno potrubím přímo na vstup horké vody do sušárny. Celý systém je připojen k náhradnímu zdroji (horká voda nakupovaná z přivaděče, připojená na anuloid v kotelně), který bude využit především při najíždění sušárny, dále pak jako doplňkový zdroj celkové tepelné bilance při nedostatku tepelné energie z kogenerace a pyrolyzéro nebo při jejich výpadku v zimním období.

Pyrolyzér

Pyrolýza je forma termického procesu, při které dochází ohřevem ke zplynění materiálu. Dochází zde ke štěpení větších organických molekul na menší. Na rozdíl od klasického spalování materiálu se tento proces odehrává výhradně za pomoci externě dodávaného tepla a za nepřítomnosti kyslíku ($\lambda = 0$). Pyrolýzní procesy dělíme na

- nízkoteplotní (<500 °C)
- středněteplotní (500-800 °C),
- vysokoteplotní (> 800 °C)

Technologie PYREG patří do kategorie středněteplotní. Pyrolýzní reaktor funguje na provozní teplotě 600-650°C. Při této teplotě dochází k dokonalému štěpení organických molekul a vzniká tzv. pyrolýzní plyn.

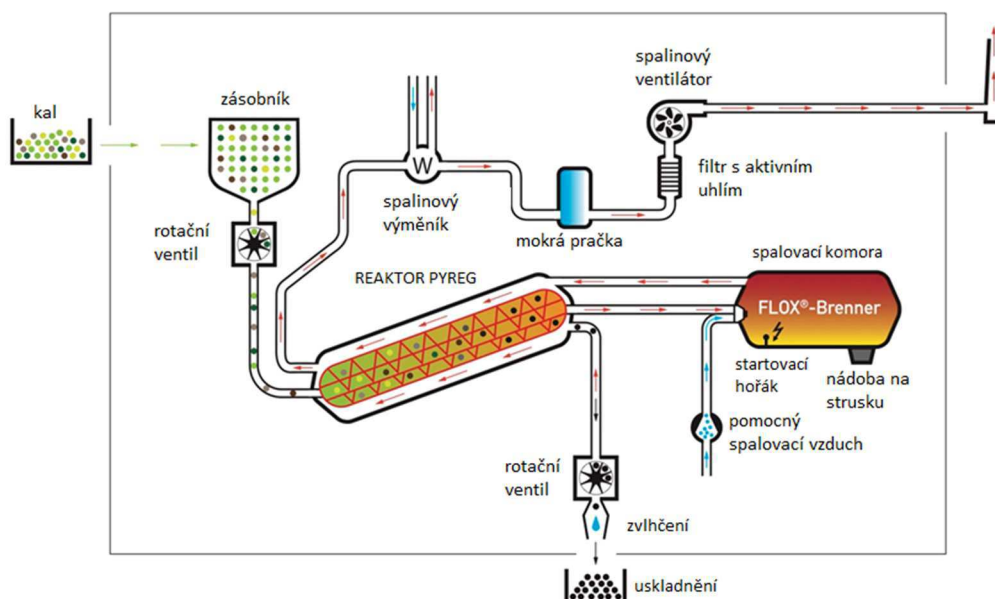


Obr. 1 – Pyrolýzní jednotka PYREG P500

Vstupním materiálem do pyrolýzní jednotky PYREG 500 (výkon hořáku 500 kW) je vysušený čistírenský kal (jednotka může také zpracovávat biomasu). Požadované parametry vysušeného kalu jsou:

- Sušina min. 70%
- Energetická hodnota kalu: min. 10 MJ/kg
- Max. velikost zrna: 30 mm
-

Pyrolýzní jednotka funguje, poté co přešla do provozního režimu, tzv. autotermně, tj. vznikající pyrolýzní plyn je spalován ve speciální spalovací komoře – FLOX® spalovací komora, a vznikající teplo je využito pro ohřev a zplynění kalu.

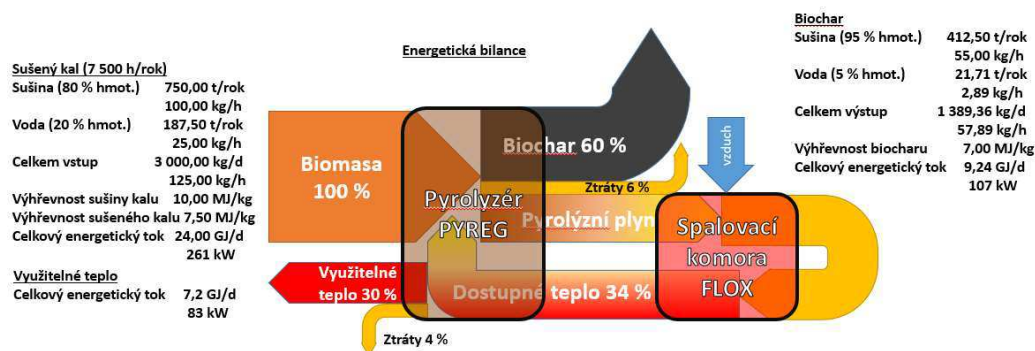


Obr. 2 – Technologické schéma technologie PYREG P500

Vysušený kal vstupuje do pyrolýzní jednotky prostřednictvím lopatkového hermetického podavače, který zároveň zamezuje vstupu vzduchu do pyrolýzního reaktoru. Reaktor tvoří vnitřní a vnější část:

- ve vnitřní části je pomocí šnekového dopravníku posouván a zplyňován kal.
- ve vnějším plášti proudí spaliny o teplotě 750-850 °C, které zajišťují kritickou teplotu zplynění kalu (550 až 650 °C) ve vnitřním prostoru reaktoru.

Pyrolýzní plyn, který se uvolňuje z čistírenského kalu je zároveň palivem ve spalovací FLOX® komoře. Tímto unikátním uspořádáním je docíleno, že pyrolýzní reaktor typu PYREG nepotřebuje ke své funkci další dodatečnou energii – vyjma elektrické energie pro pohony zařízení (max. 12 kW). Je tak zabráněno vzniku bio-oleje jako u klasických pyrolyzérů. Na výstupu z pyrolýzního reaktoru je čistírenský kal dokonale zkarbonizován a neobsahuje prakticky žádné organické složky. Sušinu materiálu lze nastavovat intenzitou skrápění na výstupu, obvyklý rozsah je 83–90 %. Výsledný produkt (karbonizát, biochar) je z technologie PYREG vynášen opět pomocí lopatkového hermetického podavače, který zamezuje vstupu vzduchu do reaktoru. Z důvodu bezpečnosti je karbonizovaný kal zvlhčován, aby nedošlo k samovolnému vznícení – teplota produktu zde dosahuje ještě cca 150 °C, ve vynášecím dopravníku cca 60 °C. Patentovaná komora FLOX® spaluje pyrolýzní plyn při konstantní teplotě 1100 až 1200 °C. Při této teplotě dochází k dokonalému spalování veškerých pevných a kapalných částí a z procesu proto neodchází žádný další produkt mimo karbonizovaný kal (např. pyrolýzní olej). Dále při této teplotě spalování nedochází k uvolňování oxidů dusíku, a tudíž není nutné pro tuto složku budovat nákladné filtrační zařízení. Ostatní složky spalin jsou čištěny pomocí mokré alkalické pračky (scrubber) a filtru s aktivním uhlím. Výstupní vyčištěné spaliny nepřekračují v případně běžného složení komunálních čistírenských kalů limity stanovené Vyhl. 415/2012 Sb. Mimo primární funkci přeměny čistírenského kalu na produkt má pyrolýzní jednotka ještě jednu podstatnou funkci – je zdrojem tepelné energie (cca 150 kWtep při plném výkonu), která zásadním způsobem vylepšuje energetickou bilanci úpravy kalu. Hlavní využití tohoto tepla je v předřazené nízkoteplotní sušárně kalů, kde je možné v závislosti na tepelných podmínkách zajistit 40 až 60% potřebné tepelné energie. Pyrolyzér je schopen zpracovat v závislosti na výhřevnosti usušeného kalu při předpokládaném ročním provozu 7500 hod max. 1250 tun vysušeného kalu na cca 80 % sušiny za rok, roční produkce karbonizovaného kalu je max. 560 tun. Tepelná a hmotová bilance pyrolyzéro pro kapacitu 3000 t/rok odvodněného kalu je na Obr. 3.

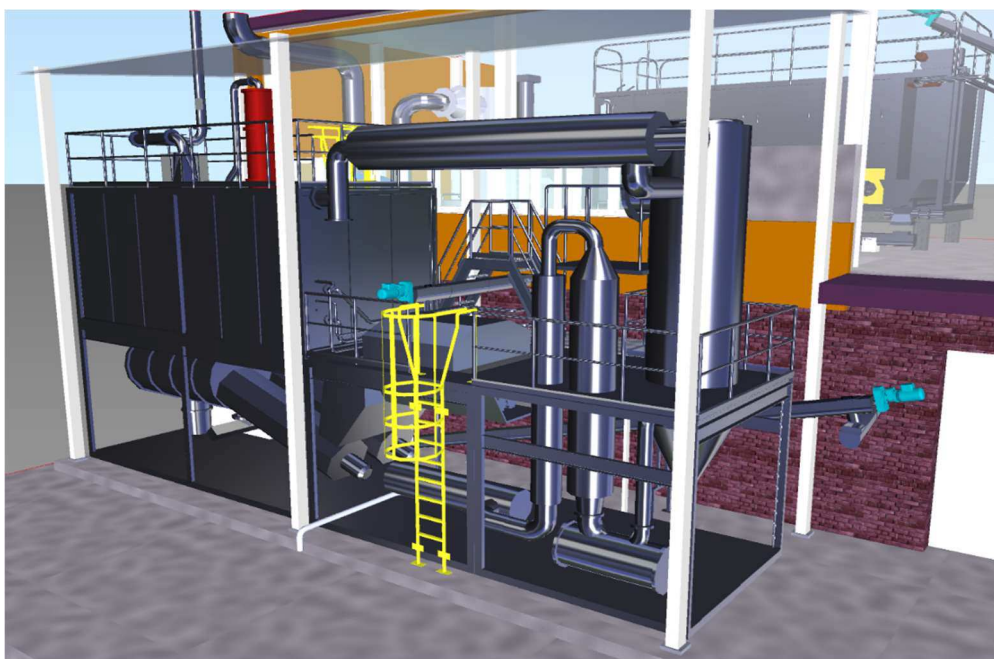


Obr. 3 – Tepelná a hmotová bilance pyrolyzéro PYREG KSF500 – příklad provozního stavu

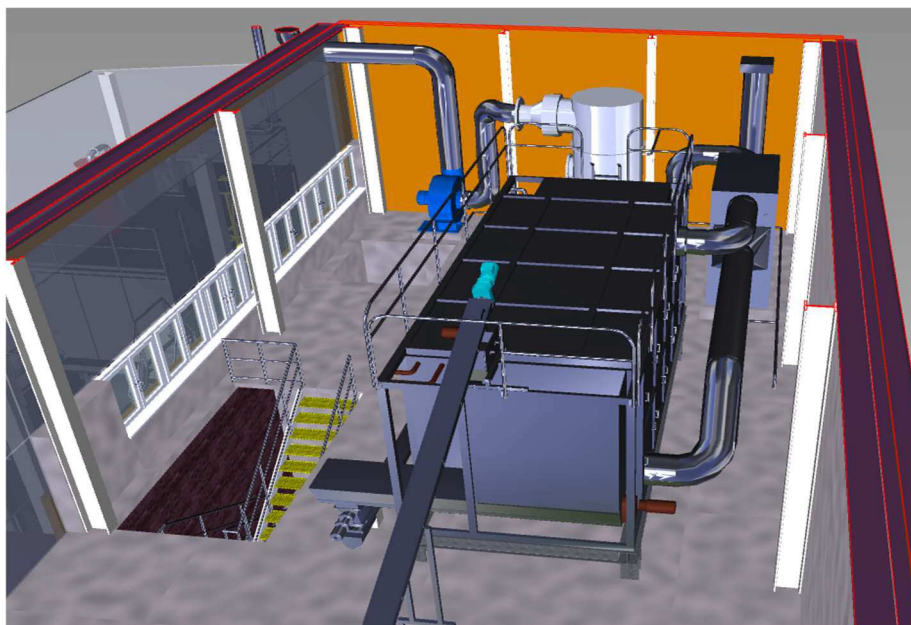
Realizace

V současné době byla dokončena vlastní realizace projektu, byla zpracována dokumentace pro provádění stavby a skutečného provedení včetně 3D modelu. Byly dokončeny stavební práce, strojní a elektro montáž včetně zařízení vytápění a vzduchotechniky.

Proběhly komplexní a garanční zkoušky nízkoteplotní sušárny EloDry NT-16 fy Eliquo-Stulz včetně rekuperátoru, pračky vzduchu a odtahového ventilátoru a pyrolyzéro P500 KSF fy Pyreg, který se skládá ze dvou kontejnerů, hlavního a technického (čištění spalin) umístěných na sobě. Zařízení je implementováno do systému řízení celé čistírny. Kalová koncovka byla uvedena do zkušebního provozu 8.9.2020.



Obr. 4 – Celkový pohled na pyrolyzér PYREG P500 KSF - 3D model



Obr. 5 – Sušárna EloDry NT-16 – 3D model



Obr. 6 – Celkový pohled na pyrolyzér PYREG P500 KSF



Obr. 7 – Sušárna EloDry NT-16

Rekapitulace – časové milníky

- Rozhodnutí VaK Trutnov o vybudování nové nízkoteplotní sušárny a pyrolyzéro, zadání dokumentace pro územní rozhodnutí v r. 2017
- Dokumentace pro územní řízení byla dopracovaná na dokumentaci pro stavební povolení v 9/2017
- Stavební povolení vydané v 2/2018
- Žádost o přidělení dotace z SFŽP, osa 3, specifický cíl 3.2.3 Výstavba a modernizace zařízení na energetické využití odpadů v 2/2018
- Oficiální rozhodnutí o přidělení dotace v 11/2018
- Zpracování soutěžní dokumentace pro soutěž „na řešení“ (Yellow Book FIDIC) 9/2018
- Kontrola soutěžní dokumentace ex ante na SFŽP 12/2018
- Veřejná soutěž na dodávku 1/2019
- Výběr zhotovitele 3/2019
- Zahájení stavby 7/2019
- Konec stavby 9/2020 (prodloužení z důvodu pandemie Covid-19)
- Uvedení do zkušebního provozu 9/2020
- Kolaudace 9/2021

Závěr

Stále více jsou evidentní snahy odstranit zdravotní a ekologická rizika v rámci filosofie oběhové ekonomiky. Procesy označované jako Sludge-to-Energy zajistí odstranění závadných látek z kalů nebo materiálovou transformaci kalů. Zároveň zlikvidují kontaminaci kalu organickými látkami, a tak zajistí vysokou bezpečnost pro životní prostředí a pro lidské zdraví. Tyto procesy jsou výsledkem hledání nových životaschopných alternativ využití čistírenských kalů, od přímých aplikací na zemědělskou půdu k získávání nutrientů a využití energetického potenciálu čistírenských kalů v kombinaci s likvidací polutantů v kalech. Tomu se bude přizpůsobovat legislativa, která bude motivovat producenty čistírenského kalu najít v relativně krátké době takové řešení nakládání s čistírenskými kaly, které bude splňovat legislativní požadavky, bude ekonomicky únosné a perspektivní a udržitelné z pohledu budoucnosti. Navrhované řešení pro ČOV Trutnov Bohuslavice splňuje všechna tato kritéria. Provoz nové linky kalové koncovky přinese dodatečné náklady za elektrickou energii sušárny a pyrolyzéro a chemikálie, na druhou stranu přinese i úspory a výnosy:

- Významné snížení nákladů za likvidaci kalu externím odběratelem, zvláště s ohledem na reálné podstatné zvýšení cen likvidace v blízkém výhledu, snížení dopravních nákladů
- Maximální využití tepelné energie z kogenerace po celý rok a maximální využití energie organické sušiny kalu
- Možnost příjmů za ekologickou likvidaci kalu z okolních čistíren
- Uplatnění karbonizovaného kalu, případně usušeného kalu podle situace na trhu

Navrhované řešení splňuje veškeré současné i známé budoucí požadavky legislativy, zajišťuje nezávislost likvidace kalů z čistírny na vnějších okolnostech a v neposlední řadě umožňuje udržení ceny vodného a stočného pod kontrolou.

Literatura

1. Evaluation of the Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991, concerning urban waste-water treatment, 13.12.2019 SWD (2019), <https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/>
2. civity Management Consultants (2017) Arzneimittelverbrauch im Spannungsfeld des demografischen Wandels, Berlin, im Auftrag des BDEW
3. Stenzel, F., Jung, R., Wiesgicki, S., Dexheimer, K., Eißing, M., Mundt, M. (2019) Arzneimittelrückstände in Rezyklaten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen, Abschlussbericht, Texte 31/2019, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Forschungskennzahl 3715 33 401 0 UBA-FB 002724, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-29_texte_31-2019_arzneimittelrueckstaende-klaerschlamme_v2.pdf