

# KVALITA KALŮ A ODPADŮ Z DOMOVNÍCH A MALÝCH ČOV A JEJICH POTENCIÁLNÍ VYUŽITÍ

Hana Hudcová<sup>18</sup>, Miloš Rozkošný<sup>1</sup>

## Abstract

Cílem příspěvku je představit dílčí část řešení projektu TA02021032, který je zaměřený na vývoj, ověření a podporu zavedení do praxe pro zařízení ekonomicky dostupné, schopné na principu kombinace mechanického a biologického anaerobního předčištění a dalších zcela nových fyzikálně-chemických postupů zabezpečit splnění zvýšených požadavků na odstranění nutrientů (N a P) a nerozpuštěných látek z odpadních vod z objektů s velkými rozdíly v sezónní produkci odpadních vod. Tato část řešení zpracovává problematiku kvality kalů a dalších odpadů z domovních a malých čistíren (do cca 1 000 EO) využívajících anaerobní a extenzivní (tzv. přírodní, nebo také přírodě blízké) procesy čištění, zahrnující i kořenové čistírny s vertikálními nebo horizontálními filtry a stabilizační nádrže. Tyto čistírny se uplatňují pro čištění komunálních odpadních vod také v České republice, a to pro zdroje velikosti od jednotlivých domů, až po obce do 2 000 EO. Prezentovány jsou výsledky analýz vzorků kalů a dalších materiálů z ČOV z období 2006 až 2013 a výsledky pokusného kompostování těchto materiálů.

## Úvod

Na čistírnách odpadních vod se lze setkat s následujícími odpadními produkty:

Shrabky a plovoucí nečistoty.

Inertní materiál zachycený v lapácích písku a štěrku (často ve směsi s materiály organického původu).

Primární kal (anaerobně stabilizovaný) ze septiků, usazovacích nádrží různých typů, kompaktních čistíren.

Kal z biologického stupně čištění.

Materiál organického původu z rozkladu biomasy vegetace rostoucí na povrchu filtrů.

Biomasa vegetace filtrů.

Sediment ze stabilizačních nádrží.

Biomasa plovoucích makrofyt z povrchu stabilizačních nádrží.

Při použití kalu ke hnojení půdy je třeba věnovat pozornost možné kontaminaci půdy, podzemní, příp. povrchové vody a ovzduší. Vyloučení kontaminace půdy a rostlin na ní pěstovaných lze dosáhnout dodržením koncentračních limitů kontaminujících látek v kalu. V České republice je v platnosti vyhláška č. 382/2001 Sb., kde vedle technických a organizačních podmínek aplikace jsou vymezeny kvalitativní ukazatele, jejich dodržení je nezbytné pro eliminování negativních účinků kalu vlivem přítomnosti kontaminantů, mezi

---

<sup>18</sup> Ing. Hana Hudcová, Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D., VÚV TGM, v.v.i., Mojmírovo nám. 16, 612 00, Brno, tel. +420 541126311, e-mail: [hana\\_hudcova@vuv.cz](mailto:hana_hudcova@vuv.cz)

něž se řadí těžké kovy, mikrobiální znečištění, PCB jako zástupce organických polutantů, AOX. Dávky aplikovaného kalu jsou omezeny na 5 t sušina na 1 hektar za 3 roky.

Na malých ČOV (obecních) většinou daleko více procentuálně převažují splaškové vody, nad průmyslovými, pokud se průmyslové vůbec vyskytují, a proto bývají obsahy těžkých kovů v kalech těchto ČOV nižší než u čistíren městských. Nelze však pominout nebezpečí jednorázové kontaminace, která není kompenzována případným ředěním. Do popředí se tak dostává zejména mikrobiální kontaminace kalů, proto jsou zmíněnou vyhláškou stanoveny i dvě kategorie kalů z hlediska jejich mikrobiální kontaminace a použitelnosti v zemědělství (Malý, 1998). Přípustné pro zemědělskou aplikaci jsou jen stabilizované kaly. Stabilizace kalů, anaerobní i aerobní, vychází z technických parametrů při tomto zpracování – u anaerobní stabilizace z doby zdržení kalu ve fermentoru a teploty, při čemž technický stupeň vyhnití lze hodnotit z úbytku organické hmoty. Je všeobecně známo, že hygienické vlastnosti kalu se jeho stabilizací výrazně zlepšují, přesto však ani dokonale stabilizovaný kal není materiálem zcela nezávadným (Malý, 1998).

V období 2006 až 2013 (v letech 2012-2013 v rámci zmíněného výzkumného projektu TA ČR) proběhlo vzorkování kalů objektů mechanického předčištění extenzivních ČOV (od domovních pro několik EO po komunální se zatížením až 800 EO) a balených ČOV (od domovních po ČOV do 200 EO), dále sedimentů dočišťovacích nádrží extenzivních ČOV, kolmatovaných filtračních materiálů kořenových polí a biomasy makrofyt extenzivních ČOV. Databáze je postupně rozšiřována i z dalších ČOV sledovaných v rámci projektu TA ČR a doplňována o výsledky z pokusného zpracování kalů a odpadů z ČOV kompostováním a aplikací výsledných produktů v zemědělské produkci.

## Metodika

První skupinu sledovaných čistíren odpadních vod tvořily čistírny anaerobně-aerobní s návrhovým zatížením od 5 EO do 200 EO (Obrázek 1). Jedná se o balenou ČOV v níž voda natéká nejprve do primární usazovací nádrže, která slouží současně jako kalojem. Z ní voda odtéká do anaerobního reaktoru, dále pak do anoxické sekce, do níž je přiváděn recyklát vratného kalu z dosazovací nádrže. Poslední částí ČOV je aerobní sekce, kde probíhá odstranění zbytkového organického znečištění a nitrifikace amoniakálního dusíku. Oproti aktivačním čistírnám se vyznačují menší (cca o 50 %) produkcí kalu. Četnost vyvážení kalu se u sledovaných čistíren pohybuje v množství 2x ročně, pouze výjimečně 3x a nebo 4x ročně u dvou ČOV pro 200 EO.



Obr. 1 Pohled na jednotlivé sekce anaerobně-aerobních ČOV (vlevo pro 5 EO, vpravo pro 200 EO)

Dále byla sledována jedna domovní aktivační čistírna, projektovaná pro 4 EO. Jedná se o typickou balenou ČOV, kdy voda vtéká do usazovacího prostoru přítokové části, kde je zbavená mechanických plovoucích nečistot a usaditelných látek, které jsou dále podrobeny anaerobnímu rozkladu. Z usazovacího prostoru mechanicky předčištěná voda vtéká do aktivačního prostoru, kde probíhá biologické čištění. Prostor je ve spodní části osazený jemnobublinným provzdušovací systémem. Aktivovaná směs odtéká do vertikální dosazovací nádrže. Vyčištěná voda je z toho prostoru odčerpávána mamutkovým čerpadlem do odtokového žlabu. Přebytný aerobně stabilizovaný kal je odčerpáván do vstupního usazovacího prostoru. Zde byl také směsný kal vzorkován. Pohled na jednotlivé sekce ČOV je na obrázku 2.



Obr. 2 Pohled do balené aktivační ČOV pro 4 EO

Z extenzivních ČOV byly sledovány dvě domovní kořenové čistírny, projektované pro zatížení 4 EO a 20 EO, a dvě komunální čistírny s projektovým zatížením 200 a 800 EO. Tyto komunální ČOV byly doplněny také dočišťovacími stabilizačními nádržemi, u nichž byly také sledovány vlastnosti a kvalita sedimentů a biomasy. Technologická linka obou domovních kořenových ČOV zahrnuje biologický septik jako objekt mechanického předčištění a navazující kořenové pole horizontální s podpovrchovým kontinuálním prouděním.

Návrhové parametry jsou obvyklé těmto systémům (např. Šálek, Tlapák, 2006). Na obě čistírny jsou napojeny pouze splaškové vody produkované 4 obyvateli v prvním případě (ČOV pro 4 EO) a 10 obyvateli ve druhém případě (ČOV pro 20 EO). Druhá čistírna byla dimenzována na průměrné zatížení až 20 EO, z důvodu víkendových a prázdninových společenských a kulturních akcí v areálu. Komunální kořenové ČOV jsou napojeny na jednotné kanalizační systémy, které mimo splaškové vody přináší také určitý podíl vod balastních, včetně smyvů ze zpevněných povrchů, které mohou být také zatíženy těžkými kovy, ropnými látkami, apod., jak uvádí např. Rozkošný a kol., 2010. Zde jsou také uvedeny údaje o kvalitě povrchových smyvů ze zpevněných ploch.

Technologická linka ČOV Dražovice (800 EO) zahrnuje:

1. stupeň mechanického předčištění – dešťový oddělovač, dešťová zdrž, typizovaný štěrbinový lapák písku horizontální s jemnými česlemi a typizovaná štěrbinová usazovací nádrž (obrázek 3).



Obr. 3 Štěrbínová usazovací nádrž ČOV Dražovice

2. stupeň biologického čištění - tři kořenová pole, horizontálně protěkaná, s podpovrchovým tokem a osázená porostem rákosu obecného.

3. dočišťovací stupeň – stabilizační nádrž s převládajícími aerobními podmínkami.

Četnost vyvážení kalů z usazovací nádrže je 4x ročně vždy po cca 3 měsících. Materiál zachycený v akumulacním prostoru lapáku písku obsahuje obvykle poměrně značné množství organické hmoty (kalu) a je tedy vyvážen současně s čištěním usazovací nádrže. Sediment z dočišťovací nádrže nebyl od uvedení do provozu v prosinci 1999 vytěžen.

Technologická linka ČOV Hostětín (200 EO) zahrnuje:

1. stupeň mechanického předčištění – dešťový oddělovač, dešťová zdrž, typizovaný lapák písku horizontální s jemnými česlemi a typizovaná usazovací nádrž typu KMN s bočními vyhnívacími komorami (obrázek 4).



Obr. 4 Štěrbínový lapák písku (vlevo) a pohled na usazovací nádrž s boční vyhnívací komorou (vpravo)

2. stupeň biologického čištění - dvě kořenová pole, horizontálně protékána s podpovrchovým tokem. Vegetační pokryv kořenových polí sestává z porostu chrastice rákosovité. V sušších místech se uchytily různé ruderalní druhy náročné na živiny, např. kopřiva dvoudomá, místy se uchytil porost rákosu obecného.

3. stupeň dočištění – mělká nízkozatěžovaná stabilizační nádrž s převládajícími aerobními podmínkami.

Četnost vyvážení kalů z usazovací nádrže je 3x ročně. Materiál zachycený v akumulačním prostoru lapáku písku obsahuje obvykle poměrně značné množství organické hmoty (kalu) a je tedy vyvážen současně s čištěním usazovací nádrže. Sediment z dočišťovací nádrže nebyl od uvedení do provozu v roce 1996 vyklízen, v roce 2006 proběhlo vypuštění nádrže a letnění dna s následným zpracováním narostlé biomasy a vápněním dna.

Vzorky kalů byly odebírány časově jako bodové, ale prostorově směsné. Vzorky byly odebírány z kalové sekce balených ČOV. U extenzivních ČOV byly odebírány z objektů mechanického předčištění (vyhnívací prostor štěrbinových usazovacích nádrží, prostor septiků, akumulační prostor lapáků písku). Vzorky sedimentů z nádrží byly odebírány také jako časově bodové, ale prostorově směsné, a to pomocí pístového odběráku. Vzorky byly umístěny do vzorkovnice z PE a v chladnu přepraveny do laboratoře. V laboratoři byly vzorky homogenizovány, lyofilizovány a dále zpracovány k analýzám. Analýzy byly prováděny podle akreditovaných postupů (Osvědčení o správné činnosti laboratoře č. 389 ze dne 28.6.2010 a s platností do 30.6.2015). Vzorky materiálu kolmatovaného uniklým kalem byly odebírány z kořenových polí jako časově a prostorově bodové. Vzorky byly odebírány z povrchu (vrstva 0-10 cm) a z hloubky (vrstva 30-40 cm) vždy v hlavní čistící zóně, mimo rozdělovací a sběrné zóny s hrubším kamenivem. Pro stanovení nutrientů, makroelementů a rizikových prvků byla separována frakce pod 0,063 mm. Vzorky biomasy byly sbírány v případě makrofyty kosením ze čtverce 0,25 x 0,25 m v průběhu celého roku. Po odběru byla biomasa vysušena a dále analyzována. Vzorky kalů a sedimentů byly na komunálních extenzivních ČOV odebírány



v letech 2006 až 2013. Na balených ČOV a v biologických septicích domovních kořenových ČOV zatím v roce 2012. Předpokládá se opakování odběrů v roce 2014.

## Výsledky

### Vyhodnocení vzorků kalů a sedimentů z komunálních extenzivních ČOV

V roce 2010 byl po deseti letech provozu proveden průzkum obsahu usazenin v nádrži ČOV Dražovice. Hloubka usazenin byla zjištěna v rozmezí 0 až 30 cm a byla ovlivněna evidentně prouděním vody od přítokového potrubí směrem k výusti. Nejvyšší množství usazeného materiálu bylo při březích (ovlivněno zřejmě i opadem zaneseného listí) a v prostoru u odtokového objektu. Ve většině plochy nádrže bylo množství usazeného materiálu do mocnosti 10 cm. Opakované průzkumy nádrže, prováděné v letech 2012 a 2013 v rámci řešení výzkumného projektu TA 02020128 ukázaly obdobné hodnoty, maximální mocnost sedimentu dosáhla cca 40 cm v prostoru břehové linie a odtokové části. Na většině plochy nádrže mimo odtokovou část a břehové linie do šířky cca 1 až 2 metry byla mocnost sedimentu do 10 cm. Zdrojem nerozpuštěných látek byly do roku 2010 i ojedinělé poruchy nátokového potrubí a přísun části vody z mechanického předčištění. Díky pravidelné údržbě a kontrolám k těmto závadám v posledních letech nedošlo a zdrojem nerozpuštěných látek je tak zbytkové znečištění z kořenových polí a biomasa zejména fytoplanktonu a z opadu listí z dřevin v okolí nádrže.

Obdobný průzkum nádrže za ČOV Hostětín byl proveden v roce 2006, také po deseti letech provozu. Zde bylo zjištěno obdobné rozmezí uložených sedimentů. Jejich hloubka rostla od strany s přítokovým potrubím po stranu s odtokovým objektem. Hodnoty okolo 30 cm byly zjištěny pouze v bezprostředním okolí odtokového objektu. Během průzkumů v roce 2013 (v rámci řešení projektu TA02020128) bylo prostorové rozmístění sedimentů a jejich mocnost stejné, maximální mocnost byla měřena u odtokového objektu a činila cca 50 cm. Také u této lokality je zdrojem nerozpuštěných látek (a tvorby sedimentu) zbytkové znečištění z kořenových polí a zejména biomasa z okolní vegetace a z rozvoje fytoplanktonu.

Tab. 1 Obsah makroelementů a nutrientů ve vzorcích pevných matric ČOV Dražovice a ČOV Hostětín  
(hodnoty uvedeny jako: min – max)

Parametr	Dražovice	Dražovice	Hostětín
(g/kg sušiny)	Kal z mechanického předčištění	Sediment z dočišťovací nádrže	Sediment z dočišťovací nádrže
N	0,6 – 16,4	2,4 – 6,9	3,1 – 20,2
P	1,5 – 14,1	1,1 – 3,7	1,3 – 4,7
Ca	26,1 – 49,5	18,6 – 61,6	35,5 - 108
K	2,2 – 8,1	2,9 – 16,2	3,5 – 13,5
Mg	4,9 – 8,5	5,3 – 10,5	2,8 – 8,0
Na	---	0,3 – 1,6	0,5 – 16,3
Fe	11 – 26,4	18 – 40	37,4 – 57,1
Mn	0,2 – 0,5	0,3 – 0,7	0,2 – 0,5
Sušina (%)	16 – 69	7 – 61	1 - 33
Ztráta žiháním (%)	14 – 65	7 – 26	7 - 61

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedena rozpětí obsahu vybraných polutantů na hmotu sušiny kalů a sedimentů obou čistíren. V tabulce jsou uvedeny i limitní hodnoty pro sledované polutanty podle vyhlášky č.382/2001 Sb. S výjimkou jednoho vzorku se zvýšeným obsahem mědi nebylo v celém období sledování 2006 až 2013 zjištěno překročení obsahu rizikových prvků a látek z hlediska této vyhlášky. Ve vzorcích sedimentů z dočišťovacích nádrží byl zjištěn menší podíl organických spalitelných látek (o cca 50 – 70 %) než v kalech z předčištění. Také je patrný úbytek obsahu mědi, zinku a PCB zřejmě v souvislosti s jejich dobrou akumulací nejen do kalu, ale i do makrofytní vegetace kořenových polí (Švehla a kol., 2008). Sediment hostětínské nádrže byl výrazně méně zatížený než sediment dražovické nádrže, ale pro hodnocení by bylo třeba provést více odběrů vzorků v Hostětíně. Analýzy mikrobiálního znečištění kalů a sedimentů (enterokoky, termotolerantní koliformní bakterie) neprokázaly nadlimitní zatížení, vzorky vyhovovaly limitům stanoveným vyhláškou č.382/2001 Sb. Množství fekálních koliformních bakterií bylo zjištěno v kalech z Dražovic v rozpětí hodnot  $1 \times 10^3$  –  $1 \times 10^5$  KTJ/g sušiny. Množství enterokoků bylo zjištěno v rozmezí  $1 \times 10^5$  –  $9 \times 10^5$  KTJ/g sušiny. Přítomnost salmonel nebyla zjištěna. Ve vzorcích sedimentů dražovické dočišťovací nádrže bylo zjištěno množství fekálních koliformních bakterií v rozmezí  $0$  –  $6 \times 10^2$  KTJ/g sušiny, enterokoků  $0$  -  $1 \times 10^3$  KTJ/g sušiny. Mikrobiální koncentrace je tedy výrazně nižší než v případě kalů z předčištění a prakticky splňuje i limity I.kategorie kalů dle zmíněné vyhlášky a v případě těžby je možné je aplikovat obecně na zemědělské pozemky.

Tab. 2 Obsah rizikových prvků a sloučenin ve vzorcích pevných matic ČOV Dražovice a ČOV Hostětín (hodnoty uvedeny jako: min – max)

Parametr	Dražovice	Dražovice	Hostětín	Limitní hodnoty
(mg/kg sušiny)	Kal z mechanického předčištění	Sediment z dočišťovací nádrže	Sediment z dočišťovací nádrže	(vyhláška č. 382/2001 Sb.)
As	5,5 – 9,4	3,9 – 17,8	0,9 – 13,9	30
Cd	0,14 – 0,89	0,18 – 0,43	0,06 – 0,57	5
Cr	31,6 – 53,6	21,2 – 100	4,4 – 63,9	200
Cu	62,3 – 586	29,6 – 217	6,1 – 111	500
Hg	0,05 – 0,66	0,03 – 0,20	0,01 – 0,27	4
Ni	24,4 – 35,9	19,9 – 44	4,7 – 61,4	100
Pb	17,8 – 54,8	17,2 – 26,4	1,1 – 25,5	200
Zn	165 - 1120	103 – 606	46 - 433	2500
AOX	10 – 152	---	---	500
PCB	0,01 – 0,28	< 0,01	---	0.6

#### Vyhodnocení vzorků kalů ze septiků domovních kořenových ČOV

Obsah rizikových prvků ve vzorcích kalů ze septiků domovních kořenových čistíren byl následující: 2 – 4 mg/kg As, 1 – 1,5 mg/kg Cd, 8 - 43 mg/kg Cr, 128 - 161 mg/kg Cu, 0,3 – 0,6 mg/kg Hg, 10 - 28 mg/kg Ni, 8 - 14 mg/kg Pb, 550 - 1100 mg/kg Zn. Vzorky měly sušinu 3 – 6 % a ztrátu žíháním 60 – 85 %. Obsah dusíku byl v rozmezí 20 – 30 g/kg sušiny a obsah fosforu 5 – 14 g/kg sušiny. Složením tedy kaly ze septiků prakticky řádově odpovídají složení kalů z balených ČOV kategorie do 10 EO (tabulky 3 a 4). Mikrobiální znečištění nebylo z důvodu finančních prostředků v roce 2012 provedeno.

#### Vyhodnocení vzorků kalů z balených ČOV

Složení kalu z aktivační domovní ČOV bylo následující: sušina kalu 13 %, ztráta žíháním 80 %, obsah dusíku 45 g/kg sušiny, obsah fosforu 17 g/kg, Na – 0,75 g/kg, K – 1,1 g/kg, Ca – 48,9 g/kg, Mg – 2,7 g/kg, Al – 3,1 g/kg, Fe – 2,2 g/kg, Mn – 0,13 g/kg. Obsah rizikových prvků byl následující: As – 1,3 mg/kg sušiny, Cd – 0,59 mg/kg, Cr – 8 mg/kg, Cu – 253 mg/kg, Hg – 0,16 mg/kg, Ni – 16,5 mg/kg, Pb – 9,4 mg/kg, Zn – 822 mg/kg. Složení kalu tedy odpovídá složení kalů z anaerobně-aerobních ČOV kategorie do 10 EO (tabulky 3 a 4).



Obsahy těžkých kovů ve všech vzorcích kalů z anaerobně-aerobních ČOV nepřekračovaly limitní hodnoty stanovené pro využití kalů v zemědělství (tabulka 4). Výjimkou byl kal z jedné ČOV kategorie do 200 EO s nadlimitním obsahem zinku (tabulka 4). Kal z jiné ČOV do 200 EO se v koncentraci zinku blížil stanovenému limitu. Množství kovů a makroelementů v kalech se lišilo také podle typu vod napojených na jednotlivé ČOV, protože do části z nich byly napojeny také menší průmyslové provozovny. U kalů ČOV kategorie do 10 EO byly zjištěny menší obsahy chromu, arsenu, rtuti, niklu, olova a zinku. V tabulce 3 jsou uvedeny obsahy dusíku, fosforu a makroelementů. Sušina kalů a obsah spalitelných organických látek se u obou kategorií ČOV pohyboval v prakticky stejném rozmezí (tabulka 3).

**Tab. 3 Obsah makroelementů a nutrientů ve vzorcích pevných matric anaerobně-aerobních ČOV (hodnoty uvedeny jako: min – max / průměr)**

Parametr	ČOV do 10 EO	ČOV do 200 EO
<b>(g/kg sušiny)</b>		
<b>N</b>	18,8 – 50,4 / 29,6	23,5 – 57 / 37,7
<b>P</b>	2,9 – 12,6 / 7,5	5,8 – 35,1 / 13,2
<b>Ca</b>	11,1 – 48,9 / 29,1	11,5 – 70 / 34,2
<b>K</b>	0,64 – 2,1 / 1,27	2,0 – 6,7 / 3,5
<b>Mg</b>	0,96 – 2,2 / 1,7	1,6 – 8,4 / 4,5
<b>Na</b>	0,65 – 1,41 / 1,1	1,0 – 2,4 / 1,6
<b>Fe</b>	2,2 – 8,8 / 4,1	2,8 – 18,3 / 10,0
<b>Mn</b>	0,04 – 0,12 / 0,08	0,04 – 0,3 / 0,16
<b>Al</b>	1,7 – 9,9 / 4,7	1,3 – 26,7 / 14,9
<b>Sušina (%)</b>	2 – 14 / 9	5 – 12 / 9
<b>Ztráta žiháním (%)</b>	53 – 92 / 80	53 – 88 / 71

Oproti kalům anaerobně stabilizovaným z objektů mechanického předčištění extenzivních ČOV obsahovaly kaly všech balených čistíren kategorie do 10 EO výrazně vyšší množství mikroorganismů (ukazatele enterokoky a fekální koliformní bakterie). V některých vzorcích byla zjištěna přítomnost salmonel. Množství fekálně koliformních bakterií se pohybovalo v rozpětí  $1 \times 10^5 - 3,7 \times 10^7$  KTJ/g sušiny a množství enterokoků v rozpětí  $2,5 \times 10^4 - 1,6 \times 10^7$  KTJ/g sušiny. Pro případné využití kalů v zemědělství by bylo nutné jejich další zpracování, nebo odvoz ke zpracování v rámci kalového hospodářství větší ČOV, což se u všech sledovaných lokalit děje.

Tab. 4 Obsah rizikových prvků a sloučenin ve vzorcích pevných matric anaerobně-aerobních ČOV (hodnoty uvedeny jako: min – max / průměr)

Parametr	ČOV do 10 EO	ČOV do 200 EO	Limitní hodnoty
(mg/kg sušiny)			(vyhl. č. 382/2001 Sb.)
As	0 – 2,8 / 1,9	1 – 10 / 4,6	30
Cd	0,4 – 3,2 / 1,5	0,4 – 2,3 / 1,1	5
Cr	12,3 – 24,1 / 17,9	21,8 – 96,3 / 53,1	200
Cu	106 – 463 / 193	122 – 197 / 154	500
Hg	0,19 – 1,77 / 0,79	0,54 – 1,5 / 1,1	4
Ni	5,3 – 17 / 10,8	8,6 – 31,5 / 20,1	100
Pb	6,2 – 21,9 / 12,2	10,5 – 39,3 / 21,9	200
Zn	505 – 1260 / 853	855 – 3580 / 1712	2500

#### Filtrační materiál kořenových polí

Změny filtračních materiálů kořenových polí podrobně zkoumala např. Hyánková (2005), Švehla a kol. (2008), Suchý a kol. (2009) apod. Autoři uvádí změny pórovitost a hydraulické vodivosti filtračních materiálů v důsledku kolmatace v čase. Procentní podíl kalu v sušině filtračního materiálu se pohyboval v jednotkách procent. V částech kořenových polí několika ČOV nejvíce zasažených kolmatací byly zjištěny hodnoty 10 až 16 % kalu v sušině materiálu. Se vzdáleností od nátoků vod do kořenových polí podíl kalu klesal, a to u všech ČOV sledovaných v mnoha studiích výše uvedenými autory. Tyto poznatky potvrzují také průzkumy filtračních materiálů kořenových polí ČOV Dražovice, Hostětín, Myslibořice, Olší nad Oslavou a Pavlínov prováděné VÚV TGM, v.v.i., Brno v letech 2008 až 2012. Podíl spalitelných organických látek (ztráta žíháním) v sušině filtračních materiálů obsahujících jednotky procent kalu byl zjištěn do 3 %. V roce 2012 byly odebrány vzorky z kořenových polí ČOV Dražovice pro zjištění obsahu nutrientů, makroelementů a rizikových prvků. Ztráta žíháním vzorků z oblasti nátokových zón činila 13 až 19 %, z oblasti odtokových zón do 5 %. Obsah vybraných prvků ve frakci pod 0,063 mm byl následující: celkový dusík 19 – 36,4 g/kg sušiny, celkový fosfor 2,5 – 8,5 g/kg, Na 0,5 – 1,1 g/kg, K 3 – 10 g/kg, Ca 19 – 85 g/kg, Mg 4,9 – 8,6 g/kg, Al 12,6 – 35,2 g/kg, Fe 8 – 27 g/kg, Mn 0,27 – 0,37 g/kg sušiny. Obsah rizikových prvků ve stejné frakci byl v následujících rozmezích: As 4,9 – 9,9 mg/kg, Cd 0,5 – 1,1 mg/kg, Cr 20,3 – 95,3 mg/kg, Cu 123 – 453 mg/kg, Hg 0,18 – 0,64 mg/kg, Ni 26,9 – 37,2 mg/kg, Pb 13,6 – 42,7 mg/kg, Zn 679 – 1310 mg/kg sušiny. Množství rizikových prvků tedy opět nepřekračuje limitní hodnoty dané vyhláškou o použití kalů v zemědělství a všechny zjištěné údaje odpovídají složení vzorků kalu z let 2006 až 2012 odebraných z usazovací nádrže, což bylo možné předpokládat. Změnit množství nutrientů, makroelementů a rizikových prvků je možné tedy odtěžením materiálů a jejich dalším zpracováním. Je však nutné separovat

jednotlivé složky materiálu – kal a vlastní filtrační materiál. Suchý a kol. (2009) uvádí ve vzorcích separovaných kalů z kolmatovaných filtračních materiálů kořenových polí sedmi kořenových čistíren stáří dva až 16 roků následující průměrné hodnoty: celkový fosfor 3 g/kg sušiny, Na 0,6 g/kg, K 2,1 g/kg, Mg 3,7 g/kg, Ca 77 g/kg, Al 6 g/kg, Fe 5 g/kg, Mn 0,08 g/kg, As 2 mg/kg, Cd 0,2 mg/kg, Cr 40,2 mg/kg, Cu 18,5 mg/kg, Hg 0,08 mg/kg, Ni 14,9 mg/kg, Pb 15,5 mg/kg a Zn 273 mg/kg. Zjištěné hodnoty tedy řádově odpovídají námi provedeným rozborům.

Mikrobiální zatížení kolmatovaných materiálů bylo zjištěno nižší než v případě vlastních kalů z mechanického předčištění, obsah fekálních koliformních bakterií byl v rozpětí  $4,4 \times 10^4 - 1 \times 10^6$  KTJ/g sušiny, obsah enterokoků  $7,6 \times 10^3 - 9 \times 10^5$  KTJ/g sušiny. Lze předpokládat, že po vyplavení kalu objektů mechanického předčištění a jejich sedimentace ve filtračních materiálech kořenových polí dochází k jejich stabilizaci, a to v aerobních až anaerobních podmínkách, podle tloušťky vrstvy naplaveného materiálu.

### **Biomasa makrofyt z povrchu kořenových polí**

Dalším odpadem produkovaným provozem kořenových čistíren odpadních vod je biomasa makrofytní vegetace, kterou jsou osázeny biofiltry čistíren, tzv. kořenová pole. Provozní přístupy k údržbě této vegetace jsou různé, od stavu, kdy není biomasa sklížena prakticky od začátku provozu čistírny, přes každoroční spalování v jarních obdobích přímo na povrchu filtrů, až po kosení a sklízení v různých obdobích roku (během vegetačních sezón, na podzim, ke konci zimy) v různém časovém intervalu (každoročně, jednou za několik let). S vývojem aplikace této čistírenské technologie v České republice je možné konstatovat, že pravidelné sklízení vegetace makrofyt vede k její lepší regeneraci (bez sklízení postupem času vegetace řídne, mění se její složení, dochází k náletu a rozvoji druhotné vegetace druhů náročných na živiny), lepší kontrole povrchu filtrů a nedochází k akumulaci biomasy z rozkladu staré vegetace na povrchu filtrů. Množství akumulované hmoty bylo zjištěno u kořenových polí bez sklízení vegetace po dobu cca 10 let v rozmezí 2 až 4 cm. Charakter materiálu se blíží kompostu (vlastní pozorování autorského týmu). Množství živin a rizikových prvků nebylo autory zatím zjišťováno. Výsledky rozborů vzorků biomasy rákosu (*Phragmites australis*) a chrastice (*Phalaris arundinacea*), tedy dvou základních druhů využívaných při realizaci kořenových ČOV v České republice, uvádí podrobně Vymazal a kol. (2007) a Vymazal a kol. (2009).

### **Nakládání se sledovanými materiály**

Stávající způsoby nakládání s odpady ze zájmových ČOV, které byly sledovány, jsou následující:

1. Skládkování - Ke skládkování jsou odváženy shrabky, plovoucí nečistoty a inertní materiál zachycený v lapácích.
2. Odčerpání a odvoz na ČOV s kalovým hospodářstvím - Zejména z domovních ČOV je kal z procesu čištění, nebo z usazovacích nádrží a septiků, v požadovaném intervalu odvážen ke zpracování na ČOV s kalovým hospodářstvím.
3. Odčerpání a odvoz pro využití na zemědělských pozemcích - V případě splnění požadavků na kvalitu kalů a sedimentů podle vyhlášky č.382/2001 Sb. jsou kaly a sedimenty po

odtěžení, nebo odčerpání, využívány ke hnojení zemědělských pozemků. Podmínkou je stabilizace kalů, a to např. vyhníváním v akumulacích prostorách septiků, nebo usazovacích nádrží.

4. Zpracování biomasy vegetace - Biomasa vegetace rostoucí na povrchu kořenových filtrů je v některých případech nezpracovávána (nesklížena), v jiných je kosena a spalována mimo těleso filtru.

5. Zpracování biomasy plovoucích makrofyt - Biomasa plovoucích makrofyt je z hladiny stabilizačních nádrží sklízena pomocí ručního síta, a to v průběhu vegetační sezóny. Následně je ukládána a ponechávána samovolnému rozkladu.

V roce 2012 bylo v rámci řešení projektu TA02021032 zahájeno pokusné zpracování odpadů z extenzivních ČOV (kaly, kolmatovaný filtrační materiál, makrofytní vegetace kořenových polí) kompostováním. Na obrázku 5 jsou příklady plnění plastových kompostérů osazených v areálu ČOV těmito materiály.



**Obr. 5 Plnění plastových kompostérů o objemu 600 litrů kaly z mechanického předčištění a biomasou z povrchu kořenových polí**

Postupně bylo připraveno několik sad pokusných kompostů s využitím odpadních materiálů extenzivních ČOV (stabilizovaný kal, filtrační materiál kolmatovaný uniklým kalem a obohacený zbytky po rozkladu biomasy vegetace, sklizená makrofytní vegetace z kořenových polí a biomasa z kosení trávníků v areálu ČOV. V roce 2014 na tyto pokusy zaměřené na extenzivní ČOV byly rozšířeny o další typy ČOV a jimi produkované odpady (kaly z procesu čištění) u zdrojů do 1 000 EO.

V tabulkách 5 až 7 jsou uvedeny výsledky analýz materiálů z procesu kompostování odpadů a kalů produkovaných ČOV Dražovice po ukončení dvou sérií pokusů. Výsledky obsahu makroelementů (tab. 5), rizikových prvků (tab. 6) a mikrobiálního zatížení (tab. 7) lze porovnat s údaji uvedenými v tabulkách 1 a 2.

Legenda k označení vzorků K1 až K8 je následující:

K5 – biomasa + filtrační materiál s kalem uniklým z usazovací nádrže (akumulace kalu po dobu cca 13 let) – horní polovina kompostéru

K6 – biomasa + filtrační materiál s kalem uniklým z usazovací nádrže (akumulace kalu po dobu cca 13 let) – dolní polovina kompostéru

K7 - biomasa + kaly z objektů mechanického předčištění – horní polovina kompostéru

K8 - biomasa + kaly z objektů mechanického předčištění – dolní polovina kompostéru

**Tab. 5 Obsah makroelementů a nutrientů ve vzorcích kompostů z extenzivní ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1.série / 2.série)**

Parametr (g/kg sušiny)	K5	K6	K7	K8
N	1,61 / -	0,48 / -	1,48 / -	0,33 / -
P	8,72 / 8,41	2,43 / 4,78	4,11 / 2,69	2,95 / 1,76
Ca	36,2 / 26,7	32,8 / 21,5	30,6 / 25,9	31,9 / 31,1
K	9,35 / 8,47	6,22 / 6,11	8,91 / 7,59	2,07 / 3,75
Mg	9,97 / 8,42	7,96 / 7,90	9,29 / 6,52	5,64 / 4,81
Na	1,10 / 0,483	0,341 / 0,454	0,870 / 0,570	0,303 / 0,305
Fe	33,3 / 35,5	25,6 / 29,6	30,0 / 29,7	19,6 / 23,9
Mn	0,645 / 0,340	0,539 / 0,363	0,496 / 0,623	0,236 / 0,275
Sušina (%)	54,2 / 47,2	92,1 / 68,7	68,6 / 80,4	95,7 / 88,5
Ztráta žiháním (%)	32,9 / 29,1	9,80 / 13,1	26,2 / 8,9	6,99 / 10,5

**Tab. 6 Obsah rizikových prvků a sloučenin ve vzorcích kompostů z extenzivní ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1.série / 2.série)**

Parametr (mg/kg sušiny)	K5	K6	K7	K8
Al	43100 / 51500	25400 / 25100	33300 / 28100	97200 / 12700
As	13,4 / 12	7,9 / 8,6	9,4 / 7,4	3,9 / 3,6
Cd	1,31 / 1,1	0,32 / 0,71	0,68 / 0,24	0,28 / 0,15
Cr	105 / 77,9	44,4 / 54,8	55,8 / 45,8	22,6 / 27,2
Cu	395 / 385	92,3 / 306	243 / 108	1620 / 104
Hg	0,575 / 0,644	0,132 / 0,406	0,245 / 0,118	0,101 / 0,139
Ni	43,0 / 52,3	25,6 / 37,1	31,6 / 31,6	17,9 / 19,8
Pb	44,3 / 56,7	20,6 / 40,3	28,0 / 25,7	25,1 / 24,8
Zn	2130 / 1780	314 / 1200	887 / 311	309 / 347

Tab. 7 Mikrobiologické ukazatele ve vzorcích kompostů z extenzivní ČOV (hodnoty uvedeny jako: 1.série / 2.série)

Parametr (KTJ/g sušiny)	K5	K6	K7	K8
Fek. kolif. bakterie	74 / 0	130 / 0	0 / 0	0 / 0
Enterokoky	2340 / 127	11 / 44	1060 / 473	84 / 113

## Závěr

Jak vyplývá z dlouhodobých sledování kalů z objektů mechanického předčištění extenzivních ČOV, nepřekračuje jejich kontaminace rizikovými prvky a látkami a mikrobiální znečištění limitní hodnoty dané vyhláškou pro použití kalů v zemědělství. Mikrobiální znečištění kalů je však poměrně proměnlivé v závislosti na míře stabilizace. Pro dosažení větší stability míry kontaminace by bylo dobré více hlídat probíhající procesy, případně zvolit mezistupeň stabilizace kalů před jejich použitím v zemědělství. Možnost uplatnění kalů v zemědělství se však vyvíjí v období, kdy provádíme sledování, podle dohody mezi provozovateli a zemědělsky hospodařícími subjekty. V obdobích, kdy není zájem ze strany těchto subjektů o kaly, je nutné jejich vyvážení na jiné komunální ČOV s kalovým hospodářstvím, což je i pro provozovatele finančně náročnější.

Kaly z balených ČOV všech kategorií do 200 EO, které byly sledovány, jsou vyváženy obvykle dodavateli ČOV k dalšímu zpracování v rámci kalového hospodářství větších komunálních ČOV. Kaly ze septiků domovních extenzivních ČOV nebyly od zahájení jejich provozu (roky 2010 a 2011) prozatím vyváženy. Prakticky hlavním problémem pro přímou aplikaci kalů z balených ČOV v zemědělství je jejich zjištěná mikrobiální kontaminace. Je tedy nutné kaly odvážet k další stabilizaci a snížení mikrobiální kontaminace.

Výskyt kalů na povrchu kořenových polí a zemních filtrů souvisí s jejich vyplavováním při hydraulickém přetížení ČOV a nebo s jejich bytněním a vyplouváním k hladině, odkud jsou vodou unášeny dále na filtry, v případě, že v usazovacím prostoru nejsou dostatečně navržené norné stěny. Vyplavování kalů v obou případech je u štěrbínových nádrží spojeno zřejmě s tím, že nejsou dostatečně prostupné štěrby (také v důsledku bakteriálních nárostů) a dochází k usazování kalů v prostoru nad štěrbínami, odkud jsou následně vyplavovány, nebo unikají při bytněním. U jiných typů nádrží a u septiků je příčinou nevhodný návrh konstrukcí objektů, nebo obtížné a nedostatečné odkalování pozorované u nádrží s bočními vyhnívacími komorami, kdy je kal přepouštěn do komor ode dna.

Biomasu makrofyty je možné využít pro kompostování. Naprosto nevhodným způsobem údržby je spalování této vegetace, zejména přímo na povrchu biofiltrů.

Kontaminace sedimentů dočišťovacích nádrží nepřekračuje limity pro jejich využití v zemědělství. Mikrobiální kontaminace odebraných vzorků byla velmi nízká. Zjištěné hodnoty umožňují přímé využití v případě těžby těchto sedimentů.

Jak vyplývá z přehledu způsobů hospodaření s odpady produkovanými na ČOV, zatím nejsou zpracovávány jako surovina, pouze stabilizované kaly jsou využívány pro hnojení zemědělských pozemků. Z tohoto důvodu jsou práce zaměřeny na ověření možností

kompostování odpadových materiálů. Výsledky pokusného kompostování prokázaly výrazné snížení mikrobiálního zatížení odpadů z ČOV a obsah poměrně velkého množství makroelementů využitelných vegetací při aplikaci výsledného produktu kompostování. Pozornost je však nutné věnovat obsahu těžkých kovů, protože ke snížení jejich obsahu kompostováním prakticky nedochází, výsledný obsah je výsledkem poměru míchání jednotlivých složek a při aplikaci je nutné mít informace o obsahu těchto kovů v půdě, kde se předpokládá aplikace kompostů. Je nutné zdůraznit, že biologicky dostupná bude pouze část těchto rizikových prvků. V další fázi výzkumu se práce zaměří také na určení biologicky dostupných složek rizikových prvků, makroelementů a nutrientů, a to jak v surových materiálech, tak i v materiálech zpracovaných kompostováním.

## Poděkování

Prezentace byla vytvořena za podpory projektu TA02021032 „Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů“.

## Literatura

22. HYÁNKOVÁ, E. (2005) Vlastnosti filtračního prostředí pro přírodní způsoby čištění odpadních vod. Disertační práce. Brno: ÚVHK FAST VUT, 86 s. + přílohy.
23. MALÝ, J. (1998) Zneškodňování odpadních látek z malých ČOV. In: nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren. Sborník ze semináře. Brno: VUT FAST ÚVHK. S. 65-69.
24. ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M., BERÁNKOVÁ, D., SVOBODOVÁ, J. (2010) Možnosti redukce znečištění povrchových smyvů z komunikací a parkovišť vsakováním. VTEI, příloha Vodního hospodářství, roč. 52, č. 4, s. 13-17. ISSN 0322-8916.
25. SUCHÝ, V. a kol. (2009) Odstraňování vybraných rizikových prvků z komunálních odpadních vod do kalu na kořenových čistírnách. Bulletin VÚRH Vodňany. 45 (4) – 2009.
26. ŠÁLEK, J., ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M. (2008) Poznatky z průzkumu kořenových čistíren odpadních vod v moravských krajích a částí kraje Vysočina. Výzkumná zpráva pro MŽP. VÚV T.G.M. BRNO, 40s.
27. ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V. (2006) Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, ČKAIT. Praha, 283 s.
28. ŠVEHLA, J., VYMAZAL, J., KRÖPFLOVÁ, L. a kol. (2008) Vybrané stopové prvky v sedimentech kořenových čistíren. In. Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR 206/06/0058). ENKI Třeboň, 69-77.
29. VYMAZAL, J. a kol. (2007) Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. *Science of the Total environment* 380 (2007) 154 – 162.
30. VYMAZAL, J. a kol. (2009) Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Ecol. Eng.* 35 (2009) 303 – 309.