



Kaly 4x jinak

Integrace vodní a kalové linky v kontextu nových legislativních výzev

Radka Rosenbergová, Lenka Carová Mátlová, Ondřej Beneš | Veolia Holding ČR

Libor Novák | Aqua4you, s.r.o.

| Kaly 4 x jinak

„Čistší odtok = špinavější kal“

1. Vliv kvarterního čištění na čistírenské kaly

Analýza vlivu moderních technologií dočišťování na kvalitu a složení produkovaného kalu.

2. Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Zpřísněné limity pro odtok fosforu a jejich dopady na stabilitu a biologické vlastnosti aktivovaného kalu.

3. Vliv odpěňovačů na kal

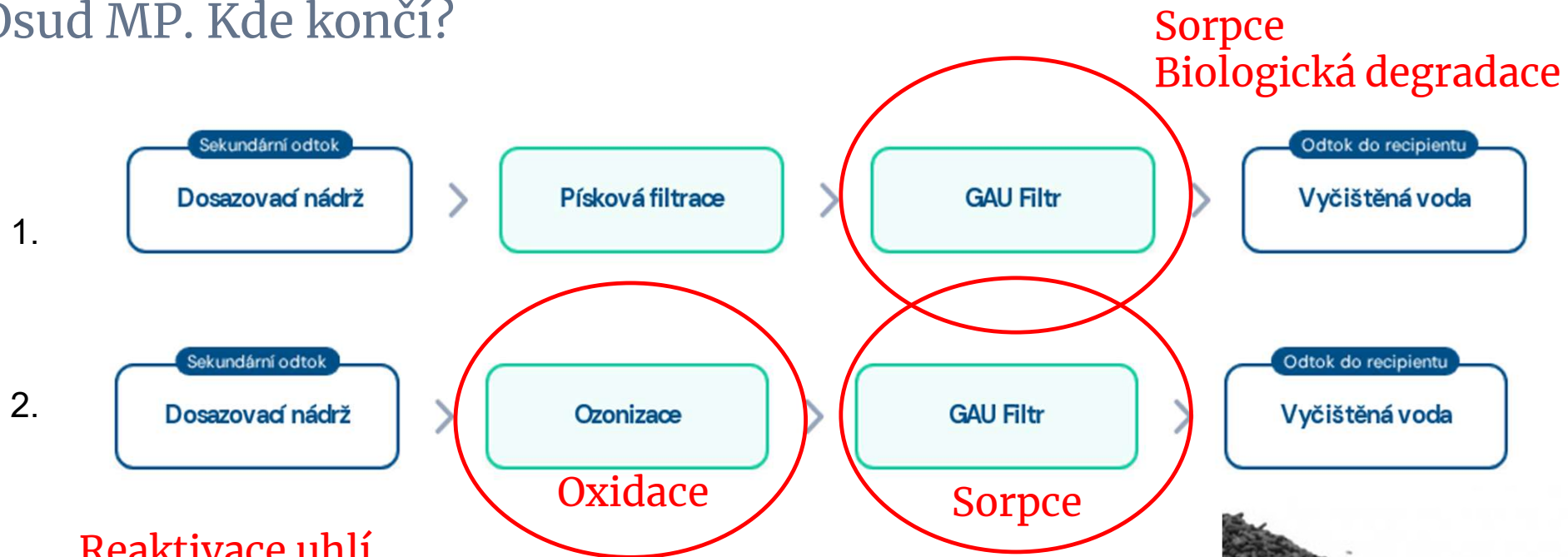
Využití odpěňovacích prostředků v provozní praxi a jejich vliv na zahušťování a odvodňování kalu.

4. Legislativa

Aktuální legislativní rámec a připravované změny v oblasti nakládání s kaly a jejich využití.

1. Vliv kvarterního čištění na kaly

Osud MP. Kde končí?



Reaktivace uhlí

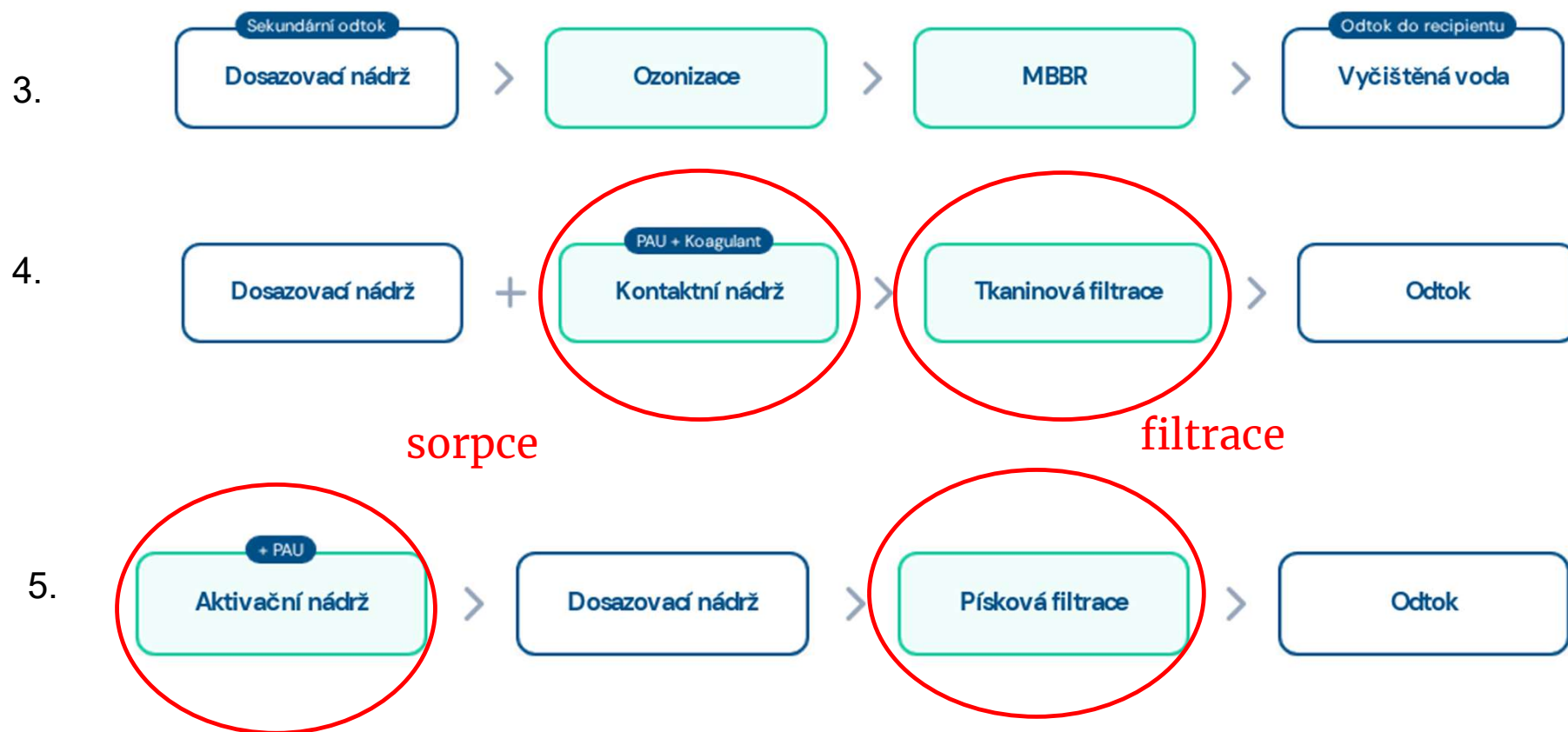
Komplexní tepelně chemický proces (legislativně „spalovna“)

Tepelná destrukce: Mikropolutanty (léčiva, pesticidy, hormony) jsou organické molekuly. Při teplotách nad 800 °C dochází k jejich úplnému rozkladu (mineralizaci) na základní oxidy a vodu.



1. Vliv kvarterního čištění na kaly

Osud MP v kalovém hospodářství



1. Dopady sorpce na PAU

Fyzikální zachycení: Mikropolutanty nezmizí, pouze se přesunou z vody do kalu.

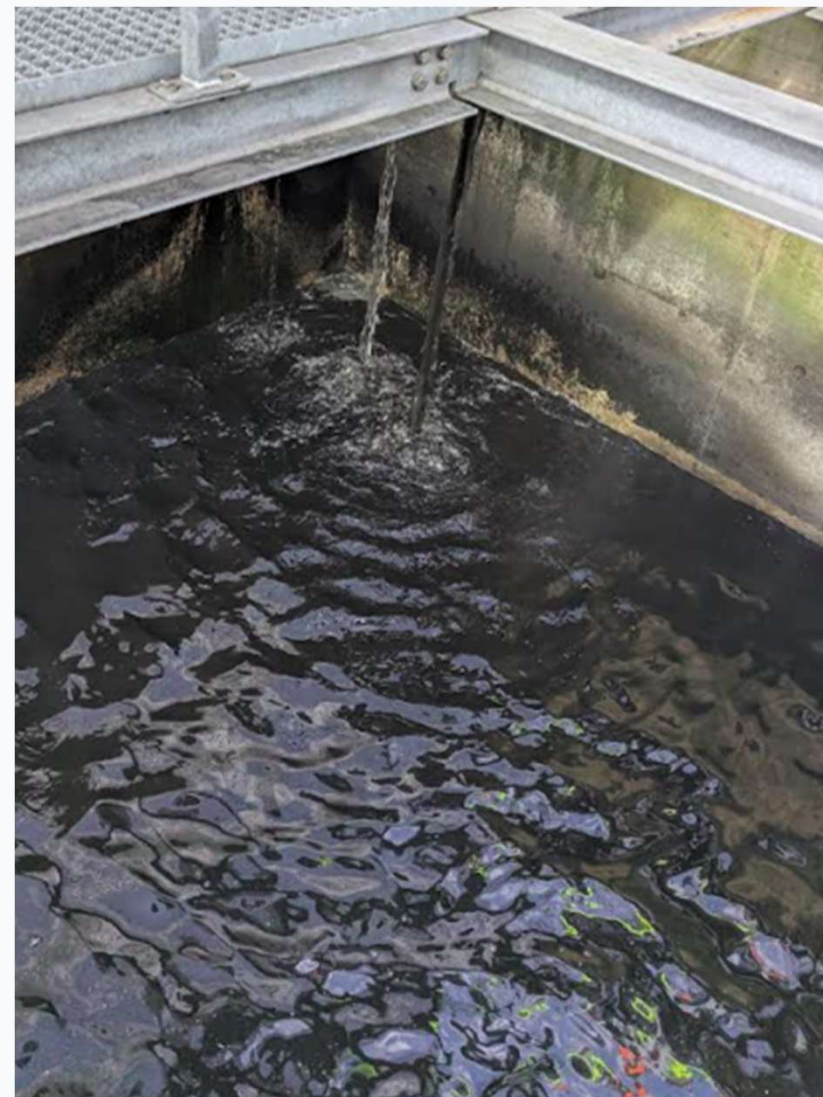
Nárůst produkce: Zvýšení množství kalu

Změna složení: Vyšší podíl popelovin a nutnost termické likvidace kvůli navázaným polutantům, vyšší abrazivita kalu, nižší životnost čerpadel, odvodnitelnost

Samostatná separace chemického kalu: problematická

optimistický scénář		ČOV1	ČOV2	ČOV3	ČOV4	ČOV5	ČOV6
Objem čištěných OV	m3/rok	114557190	9422902	19358841	16418240	16219781	8250760
Produkce kalu ts	ts	21753	1053	3093	2044	1842	1090
Obsah DOC	mg/l	7,5					
Dávka	g PAU/g DOC	2					
Dávka	mg PAU/l	15					
Uhelný kal	ts	1718	141	290	246	243	124
Nárůst produkce kalu	%	8	13	9	12	13	11

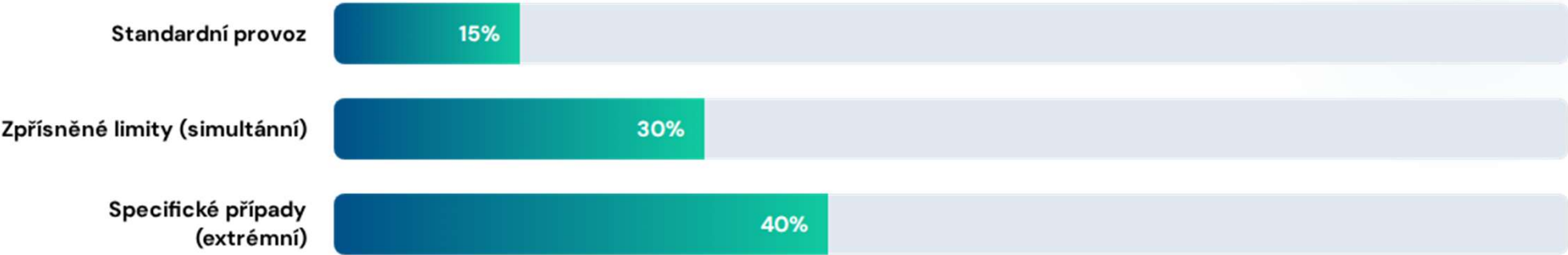
PACAS- pesimistický scénář		ČOV1	ČOV2	ČOV3	ČOV4	ČOV5	ČOV6
Objem čištěných OV	m3/rok	114557190	9422902	19358841	16418240	16219781	8250760
Produkce kalu ts	ts	21753	1053	3093	2044	1842	1090
Obsah DOC	mg/l	10					
Dávka	g PAU/g DOC	4					
Dávka	mg PAU/l	40	40	40	40	40	40
Uhelný kal	ts	4582	377	774	657	649	330
Nárůst produkce kalu	%	21	36	25	32	35	30



2. Cena za čistý odtok

Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Chemický anorganický kal



Teoretický výpočet produkce chemického kalu

Při srážení fosforu železitými solemi vzniká kal hlavně ze dvou zdrojů
 FePO_4
 Fe(OH)_3 - hlavní složka "chemického" kalu.

1 g čistého železa vyprodukuje 2,5 g chemického kalu (v sušině) (DWA)
1 kg odstr. P = 6,8 kg chemického kalu (ČSN)

		ČOV1	ČOV2	ČOV3	ČOV4	ČOV5
Objem čištěných OV	m3	114 557 190	19 358 841	16 418 240	16 219 781	8 250 760
Produkce kalu	t	83 921	12 827	7 628	7 221	4 027
Produkce kalu ts	ts	21 753	3 093	2 044	1 842	1 090
Síran	t	7 153	864	794	434	237
Čistý Fe (11,9 %)	t	851	103	95	52	28
Chemický kal	kg kalu/kg Fe	2,5				
Chemický kal	ts	2 128	257	236	129	71
Podíl chemického kalu v kalu (Výp1)	%	10	8	12	7	6
Pc přítok	mg/l	7,8	7,1	5,5	3,3	4,4
Pc odtok	mg/l	0,8	0,3	0,8	0,6	1,1
Pc odstraněný	mg/l	7,0	6,8	4,7	2,8	3,3
Pc odstraněný	t rok	803	131	78	45	27
Chemický kal	kgsuš. kalu/kgodstr P	6,8				
Chemický kal	ts	5 461	894	528	304	185
Podíl chemického kalu v kalu	%	25	29	26	17	17

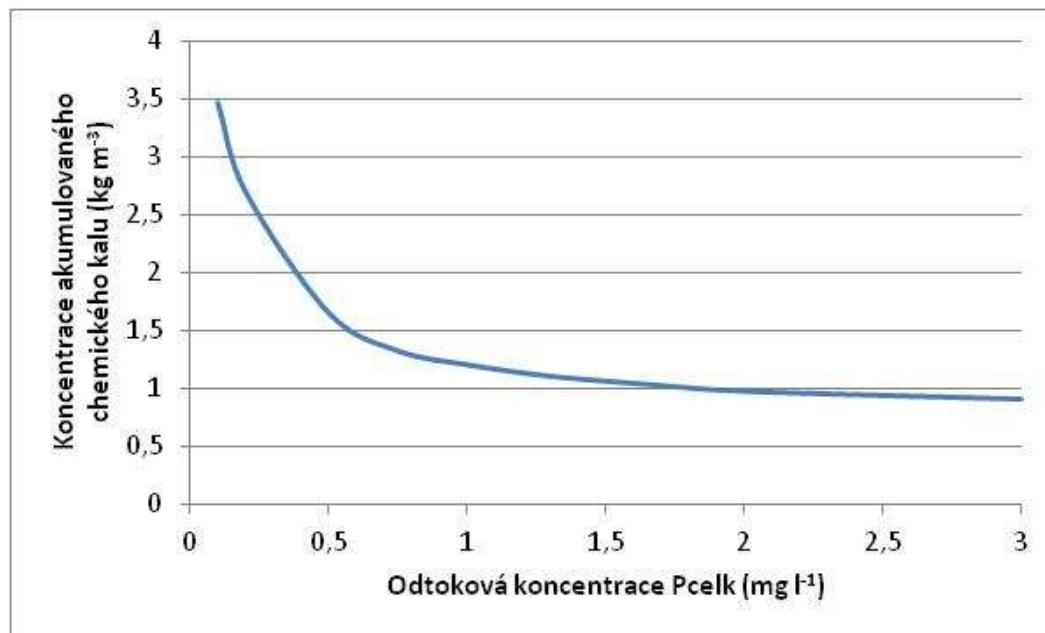
2. Cena za čistý odtok

Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Zakoncentrování chemického kalu v aktivovaném s poměrem stáří kalu / hydraulická doba zdržení

$$X_i = X_{1,i} \cdot (\Theta_x / \Theta)$$

- Modelový příklad, jak vzrůstá množství chemického kalu ze srážení v aktivovaném kalu, když se snižuje požadavek na Pcelk v odtoku.
- Kalkulace dle výše uvedené rovnice, kdy X_i je inertní NL v kalu, $X_{1,i}$ je inertní X_i v přítoku



Nutno zachovat podíl aktivní složky kalu – jediným řešením proporční nárůst objemů aktivací.

2. Cena za čistý odtok

Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Vlastnosti odvodňovaného kalu

Chemické kaly vznikající srážením kovy jsou hydrofilní. Často vyžadují vyšší dávky polymeru (flokulantu), aby bylo dosaženo stejné sušiny koláče jako před intenzivním srážením.

Nedostatek dostupného P – PO_4 pro růst MO

Nadměrné chemické srážení může tuto rovnováhu narušit dvěma hlavními způsoby:

- **Vyvoláním deficitu fosforu pro biomasu:** Mikroorganismy reagují produkcí nadměrného množství extracelulárních polymerních látek (EPS), zejména polysacharidů. Tyto polymery vytvářejí kolem buněk gelovitou vrstvu, což vede k *viskóznímu (slizovitému) bytnění kalu*.
- **Selektivní podpora růstu nevhodných mikroorganismů:** Vlákňité bakterie (např. Type 021N, Thiothrix I a II, Sphaerotilus natans) lépe konkurují v nízkých koncentracích P. Prorůstají bio-vločkami a brání zahušťování kalu, což způsobuje *klasické vláknité bytnění*. Pěnotvorné vláknité bakterie* (např. GALO/Nocardia sp., M. parvicella) vyvolávají nadměrné pění aktivace / vyhnívacích nádrží, provozní problémy, havarijní stavy.

* Historické problémy na ÚČOV: Novák, Srb, 3/2019 Sovak, Provozní problémy s aktivačními systémy pracujícími v nutričně deficitních podmínkách fosforu

2. Cena za čistý odtok

Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Alkalita, ovlivnění nitrifikace

- Na oxidaci 1 mg NH_4^+ se spotřebuje přibližně 7,14 mg alkality (jako CaCO_3). Chemická srážedla na bázi železitých a hlinitých solí však při své hydrolýze rovněž spotřebovávají alkalitu. Odhaduje se, že dávkování železa spotřebuje cca 2,7 mg alkality na každý mg Fe.
- Systémy s nízkou alkalitou (měkké vody, deštivé období) – souběh nitrifikace a masivního srážení P může vést k vyčerpání pufrovací kapacity systému. Následuje prudký pokles pH pod kritickou hodnotu 6,5. Zastavení aktivity nitrifikačních bakterií.
- Zvýšení produkce kalu – snížení reálného stáří kalu (ředění anorganikou) – méně nitrifikačních bakterií v systému (pokud je sušina z hydraulických důvodů udržována na stejné hodnotě)

Limit P pro denitrifikaci

P slouží k syntéze buněčné hmoty a energetickému metabolismu při redukci dusičnanů na plynný dusík

- Minimální koncentrace fosforu 0,24 mg/l; 0,0018 g P/g N- NO_x^* (průmyslové OV)
- Teoretická potřeba 0,04 g P na 1 g odstraněného dusičnanového dusíku, v praxi však nižší (0,02 g bezpečná hodnota)** (terciární dočištění)

*Staněk, Zábranská 2024: The impact of the phosphorus limitation on denitrification efficiency and specific sludge production in industrial wastewater treatment, Water Science & Technology

** Barbadillo a spol. 2022: TERTIARY DENITRIFICATION AND VERY LOW PHOSPHORUS LIMITS: A PRACTICAL LOOK AT PHOSPHORUS LIMITATIONS ON DENITRIFICATION FILTERS

EPA 2010: Deficit P < 0,3 mg/l

- 0,3 mg/l P- PO_4 kritická hranice v aktivační nádrži, pod kterou začíná být kinetika růstu běžných heterotrofních bakterií

Metodiky pro čištění POV

- Zajištění bezproblémové čistitelnosti: 1000 mg CHSK na vstupu 1 mg P v odtoku

2. Cena za čistý odtok

Limity pro fosfor a jejich vliv na biologický kal

Dimenzování aktivace, dosazovacích nádrží a kalového hospodářství

- Zintenzivnění chemického srážení fosforu vyžaduje revizi výpočetních parametrů pro návrh a provoz čistírenských objektů. Standardní návrhové postupy mohou být při vysokých dávkách srážedel poddimenzované
- Snížení měrné produkce bioplynu: Na jeden kilogram sušiny vloženého kalu se vyprodukuje méně bioplynu, což zhoršuje **energetickou soběstačnost ČOV**
- Vyšší množství produkovaného kalu **zkracuje dobu zdržení v anaerobních reaktorech**, což může vést k nedokonalé stabilizaci a vyššímu zápachu odvodněného kalu.
- Riziko inkrustací: V anaerobním prostředí dochází k uvolňování části vysráženého fosforu zpět do roztoku, kde může reagovat s amoniakem a hořčíkem za vzniku struvitu $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Tyto tvrdé krystaly způsobují inkrustace potrubí, výměníků tepla a míchadel, což vede k vysokým nákladům na údržbu.

Chemická koroze a abrazivita srážedel

- pokles pH, chloridy
- krystalické mikrostruktury a inkrustace.
- přechod z nerezové oceli 304 na 316L (Ti) v kritických místech nebo použití plastových potrubí (PE-HD, PVC-U) pro rozvody srážedel.

2. Cena za čistý odtok

Minimalizace rizik & Náklady

Minimalizace rizik

- **Biologické odstraňování P**

Maximální využití biologického potenciálu pro odstranění fosforu a použití chemie pouze jako "dočišťovacího" stupně.

- **On-line řízení dávkování**

Instalace kontinuálních analyzátorů a automatická regulace dávky srážedla. Zabraňuje předávkování a chrání alkalitu.

- **Dělené dávkování**

Aplikace na více místech umožňuje dosáhnout vysoké účinnosti s nižším celkovým molárním nadbytkem.

Náklady

Jasně a skryté dopady

- **Chemie:** Přímé náklady na srážedla.
- **Kalové hospodářství:** Množství kalu a jeho odvodnitelnost.
- **Energie:** Vyšší viskozita zvyšuje nároky na míchání a čerpání.
- **Energie 2:** Nižší specifická produkce bioplynu, doba zdržení ve VN
- **Údržba:** Zvýšená abraze vede k častějším výměnám dílů.

3. Vliv odpěňovačů – provázanost aktivační linky a kalového hospodářství

Anaerobní stabilizace, oxické aktivace a management pění

Pění (chemické či biologické)

Standardní řešení jak pro aerobní, tak i anaerobní procesy je dávkování odpěňovačů

Různá podstata fungování jednotlivých typů odpěňovačů, ovšem v principu snížení povrchového napětí

Rizika aplikace odpěňovačů

V případě využití anaerobních procesů s granulovanou biomasou (např. EGSB od společnosti VEOLIA) může dojít k nevratnému poškození biomasy následujícím:

- Zvýšení hydrofobity povrchu granule a narušení extracelulárních látek (EPS)
- Omezení difuze substrátu do granule a inhibiční vliv odpěňovače či metabolitů jeho rozkladu

V aerobní části ČOV dochází k výraznému snižování přestupu kyslíku do vody při zachování stejné intenzity aerace:

- Důvod: snížení povrchového napětí vody

3. Vliv odpěňovačů – provázanost aktivační linky a kalového hospodářství

Nápravná opatření

1. Najít příčinu!

Optimalizace pH nátoky, organického zatížení či odstranění tenzidů.

2. Pečlivý výběr odpěňovače

Využití laboratorních respiometrických testů a testů sedimentace s vlastním kalem z reaktoru.

Doporučení:

Preferujte nárazové dávkování před kontinuálním pro zamezení akumulace reziduí.

4. Legislativa kalů – pohled Evropské komise

„Přežitá“ směrnice 86/278/EHS?

Budoucnost využití kalů v zemědělství je analyzována JRC v rámci revize směrnice s 2 scénáři

Varianta 1

Zpřísnění monitoringu a zachování plně otevřené cesty přímého využití

Vyšší důraz na kontrolu kvality kalů vracených do půdy s důrazem na recyklaci fosforu a omezení kontaminantů (mikropolutantů)

Z pohledu ekonomické dopadu i regionálně (středo a jihoevropský blok EU nyní vč. Německa) **preferovaná varianta.**

Varianta 2

Povinné spalování.

Termická likvidace s následným získáváním fosforu z popela. Vyšší náklady, ale eliminace rizik (PFAS, mikroplasty, farmaka, pesticidy).

Destrukce PFAS pouze monospalováním nad 1100 °C – (ne pyrolýza ani spoluspalování)

Podpora skandinávských zemí.

4. Legislativa kalů a Směrnice 2024/3019

To, co nás nemine

Monitoring kalů

- Nová povinnost systematického monitoringu kalů
- mikroplasty (první metodika stanovení zveřejněna JRC)
 - PFAS (existující metodika, screening na ČOV v ČR odhalil vysoké rozšíření)
 - další mikropolutanty s bioakumulativním efektem.

Princip EPR

Extended Producer Responsibility

- Odpovědnost výrobců (farmacie, kosmetika)
- Financování opatření na odstraňování znečištění „at the end of the pipe“
- Ale zároveň silná motivace k náhradě škodlivých látek bezpečnějšími substituty, vedoucí k vyloučení původců ze schémat.

Regulace uvádění chemických látek na trh

Aktuálně schválena revize Rámcové směrnice o vodách, ale i směrnice o podzemních vodách a směrnice o environmentálních standardech. Např. pro PFAS přijat scénář, vylučující využívání těchto látek v řadě výrobků (aktuálně cirkulování v dotaznících ECHA směrem k jednotlivým „essential“ výrobkům, u kterých zatím není substitute.)

Cílem Evropské komise je **prevence vzniku odpadů a u kalů zajištění jejich opětovného použití a recyklace** a zároveň se musí **minimalizovat nepříznivé účinky na životní prostředí a lidské zdraví**.

4. Legislativa kalů a Směrnice 2024/3019

Kontrast požadavků na energetickou soběstačnost a způsobu nakládání s kalem

Do doby vydání prováděcího předpisu **není určen rozsah vyloučených činností/materiálových přenosů**. Například sušení kalů sice snižuje uhlíkovou stopu procesu odvozu kalů, nicméně **snižuje energetickou soběstačnost ČOV** – spotřeba bioplynu/zemního plynu (0,9 MWh/t odpařené vody – pásové sušárny) a elektrické energie (0,05–0,07 MWh/t odpařené vody klasické sušárny a 0,02 MWh/t odpařené vody – solární sušárny).

Výroba EE/tepla z bioplynu plně započtena, stejně tak započten negativně odběr zemního plynu a pozitivně prodej biometanu.

Obdobně návazný proces pyrolýzy je sice výrobcí technologie deklarován jako cesta ukládání uhlíku, nicméně rozhodnutí skupiny Veolia v Německu je zatím touto cestou nejít a zachovat minimalizovaný proces předsušení k zajištění samospalitelnosti kalů (rozdělení dopravních cest) a následné monoincinerace.

Problém reportingu (skleníkové plyny)

Do doby vydání prováděcího předpisu ke směrnici je pouze předpokládána redukce reportingu skleníkových plynů (zejm. N_2O a CH_4) není určen scope vyloučených činností/materiálových přenosů. V únoru 2026 Evropská komise na základě stanoviska JRC potvrdila, že další verze metodiky se zúží na nejrelevantnější části Scope 1–3.

Paradoxem zůstává deklarace celkově produkovaného CO_2 (i toho, produkovaného z energ. využití bioplynu) jako biogenního. V případě separace CO_2 z bioplynu při produkci biometanu zatím není rentabilní jeho jímání a prodej.

Shrnutí a závěry

ČOV jako celek

- Kalová koncovka a vodní linka jsou vzájemně propojené celky.
- Terciární čištění dle směrnice (srážení) může mít významný vliv na množství a kvalitu kalu.
- Kvarterní čištění (dle typu) může zásadně změnit množství a kvalitu kalu.
- Ovlivněn je také energetický potenciál kalu. I případné využití popela pro P recovery.

Legislativa

- Stávající evropská legislativa pro oblast kalů je staříčká.
- Zásadní změnu v povinném konečném nakládání s kalů lze čekat spíše v případě vysoké kontaminace a regionální energetické koncepci.
- Zvýšený monitoring se stává normou.

Paradox čistírenských kalů

Cenný zdroj:

- hnojivé účinky (nutrienty, P a N, organické látky)
- zdroj obnovitelné energie (prostřednictvím bioplynu)

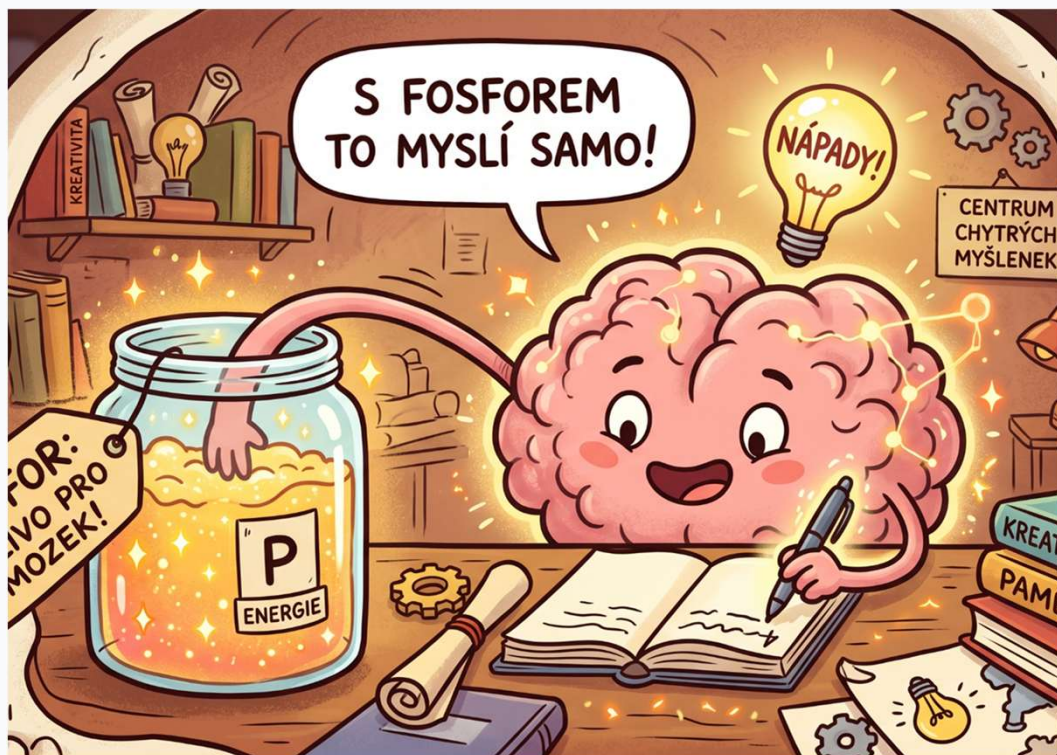
Rizikový rezervoár

- Úložiště antropogenního znečištění (těžké kovy, AOX, mikropolutanty, mikroplasty, PFAS, ARG)

Energetika

- Intenzifikace čištění by neměla ohrozit energetickou bilanci ČOV.
- Budoucnost patří on-line řízení dávkování a procesům s minimální uhlíkovou stopou.

Děkujeme za pozornost



Radka Rosenbergová

Veolia Holding Česká republika, a.s.

radka.rosenbergova@veolia.com

Libor Novák

Aqua4you, s.r.o.

libor.novak@aqua4you.cz

Lenka Carová

Veolia Holding Česká republika, a.s.

lenka.carova@veolia.com

Ondřej Beneš

Veolia Holding Česká republika, a.s.

ondrej.benes@veolia.com