

ODPADOVÉ FÓRUM 7-8

WASTE AND CIRCULAR MANAGEMENT FORUM

130 Kč

ČERVENEC/SRPEN 2025



TÉMA MĚSÍCE

BLOODPADY

Čistírny odpadních vod jako potenciální zdroje fosforu

Klíčovou surovinu pro zemědělství a některá průmyslová odvětví, fosfor, je možné recyklovat vhodným zpracováním odpadních vod v objektech čistíren odpadních vod (ČOV). Příspěvek poskytuje informaci o projektu, který je zaměřen na výzkum a vývoj recyklační technologie získávající fosfor z kalové vody – jednoho z vodních proudů technologické linky ČOV. Technologií získaný fosfor je převeden do formy hnojiva, které navíc obsahuje další makro- a mikronutrienty nezbytné pro růst rostlin.

Fosfor jako kritická surovina

V současné době čelí Evropská unie rostoucí výzvě v oblasti zabezpečení dodávek fosforu, který je nezbytný pro zemědělství i průmysl. Fosfor je zařazen na seznam kritických surovin EU, což odráží jeho strategický význam a nedostatek dostupných zdrojů. V roce 2023 EU dovezla přibližně 45 339 tun fosforu, přičemž hlavním dodavatelem je Kazachstán, ze kterého pochází 39 510 tun. Dovoz vyjádřený ve formě přírodních fosforečnanů pak činil 2 393 456 tun, přičemž největšími dovozci fosfátových hornin jsou státy převážně severní Afriky a Blízkého východu a Rusko.¹

Z pohledu Evropské unie se tedy jedná o surovinu, která má mimořádný hospodářský význam a zároveň se z velké části dováží, přičemž existuje riziko možného narušení dodavatelských řetězců. V březnu 2024 Rada EU přijala evropský Akt o kritických surovinách, kde je jedním z cílů i posílení cirkularity kritických surovin vč. jejich recyklace.² Některé evropské státy (například Německo nebo Rakousko) již upravují svoji legislativu tak, aby ukládaly provozovatelům čistíren odpadních vod (ČOV) povinnost monitorovat a později získávat fosfor, a to nejčastěji z kalu, který je při čištění odpadní vody produkován. Naproti tomu ČR stále preferuje přímé využití kalů na zemědělské půdě nebo jeho kompostování, které sice umožňuje využití fosforu rostlinami, ale možnosti jsou omezené a není zde možnost získání fosforu pro jiné využití než v zemědělství. Tento přístup může omezit schopnost ČR dosáhnout alespoň částečné soběstačnosti v produkci fosforu.

Termické metody získávání fosforu z čistírenského kalu

Jedním z klíčových technologických směrů

v oblasti získávání fosforu při provozu ČOV je termické zpracování čistírenských kalů. Tento přístup umožňuje nejen hygienizaci kalu a významnou objemovou i hmotnostní redukci jeho množství, ale také zakoncentrování fosforu do vznikajícího popelu, případně biocharu (v závislosti na použité termické metodě). Výhodou těchto metod je získávání fosforu ve formě, která je následně využitelná nejen v zemědělství, ale i v průmyslu. Nevýhodou je pak značná investiční a energetická náročnost.

Z různých forem termického zpracování se jako nejperspektivnější jeví monospalování kalů – tedy samostatné spalování čistírenských kalů bez jejich směšování s dalšími materiály, přičemž výsledný popel z tohoto procesu vykazuje vysoký obsah fosforu, obvykle ve formě amorfních nebo krystalických fosfátů, které lze dále chemicky extrahovat. V některých případech se jedná až o 90 % původního obsahu fosforu v kalu, čímž monospalování vytváří cenný vstup pro navazující technologii recyklace. Pro efektivní získávání fosforu z popela po monospalování byla v posledních letech vyvinuta řada technologických procesů³, z nichž některé již dosáhly fáze průmyslové aplikace. Mezi nejznámější patří například AshDec (Německo), který využívá termochemické zpracování popela při teplotách kolem 1 000 °C za přítomnosti alkalických aditiv. Tento proces převádí fosfor do formy dobře dostupné rostlinám, přičemž eliminuje rizikové prvky, jako je kadmium. AshDec je v současnosti provozován ve formě pilotních a demonstračních jednotek, avšak komerční nasazení se připravuje. Další významnou technologií je RecoPhos, která se zaměřuje na pyrometalurgickou separaci a umožňuje získat elementární fosfor (P_4); tato metoda je ale zatím ve fázi pilotního vývoje a vyžaduje vysoké investiční náklady. Na-

proti tomu technologie EcoPhos využívá chemickou extrakci pomocí kyseliny chlorovodíkové a byla již ověřena v provozním měřítku – mimo jiné v Belgii a Nizozemsku.

Na rozdíl od monospalování představuje spoluspalování kalů v klasických spalovnách komunálního nebo průmyslového odpadu zásadní překážku pro efektivní zpětné získání fosforu. V tomto procesu dochází k rozptýlení fosforu ve spalovacím popelu společně s jinými látkami včetně řady polutantů, což výrazně komplikuje, nebo dokonce ekonomicky a technologicky znemožňuje jeho smysluplné vytěžení. Právě z tohoto důvodu dochází k odklonu od této technologie⁴, která byla v předchozích letech považována za jednu z perspektivních možností využití čistírenského kalu.

Kalová voda jako alternativní zdroj fosforu

Vedle čistírenského kalu může být zdrojem fosforu i kalová voda, která vzniká při zahušťování a odvodňování anaerobně stabilizovaného kalu. Většina technologií využívajících tento zdroj fosforu se zaměřuje na srážení rozpuštěných fosforečnanů za vzniku struvitu ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), který vzniká při reakci fosforečnanů, amoniakálního dusíku a hořčíku za vhodných podmínek. Důležitá je v tomto směru zejména hodnota pH.⁵ Jeho řízené srážení z kalové vody nejenže umožňuje efektivní odstranění fosforu, ale také přináší výhody v podobě zlepšení odvodnitelnosti kalu a snížení provozních problémů způsobených inkrustacemi. Komerčně provozovanou technologií je Ostara Pearl, která využívá fluidní reaktor pro srážení struvitu z kalové vody. Výsledkem je granulovaný produkt s obchodním názvem Crystal Green, který slouží jako hnojivo s pomalým uvolňováním živin. Celá řada

	ČOV A	ČOV B
P _{celk.}	30 až 60 mg/l	100 až 140 mg/l
P-PO ₄ ³⁻	34 až 80 mg/l	okolo 170 mg/l

Tabulka 1: Koncentrace fosforu v kalové vodě na sledovaných ČOV s anaerobní stabilizací

technologií na získávání struvitu je pak v pilotním testování.³

V rámci projektu TAČR SS07020258 nazvaného „Recyklace fosforu z kalové vody ve formě vhodné pro zemědělské využití“, probíhá rovněž vývoj zařízení pro získávání fosforu (a dalších nutrientů) z kalové vody, avšak cílem není získávat struvit, ze kterého je fosfor pro rostliny dostupný jen velmi pomalu, ale spíše produkt obsahující fosfor v různých formách, a to ve formách okamžitě dostupných pro rostliny i formách pozvolna uvolňovaných, které podporují dlouhodobost účinku hnojení. Vstupním proudem pro získání fosforečného hnojiva je tedy kalová voda z odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu. Při anaerobní stabilizaci se fosfor z kalu uvolňuje v rámci mineralizace organické hmoty obsažené v kalu a s kalovou vodou se vrací zpět do biologického stupně čištění v rámci hlavní technologické linky ČOV. To přináší její zbytečné zatížení fosforem, který je nutno jako jeden z hlavních polutantů vyskytujících se v odpadní vodě odstraňovat. K tomu se nejčastěji využívá chemické srážení s železitémi ionty aplikovanými zpravidla před mechanickým či biologickým čištěním. Následně vysrážené fosforečnany sedimentují v usazovacích nebo dosazovacích nádržích společně s primárním nebo sekundárním kalem, čímž se opět vrací do kalového hospodářství. Přestože je uvolňování fosforu při anaerobní stabilizaci obecně známým faktem, rozbor uvedené v tabulce 1 ukazují, že koncentrace fosforečnanového fosforu, který je vhodný pro chemické srážení, se na jednotlivých čistírnách výrazně liší, což se následně projevuje v ziskovosti hnojivého přípravku.

PODĚKOVÁNÍ

Projekt č. SS07020258, Recyklace fosforu z kalové vody ve formě vhodné pro zemědělské využití, je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

Prvek	P	K	N	Ca	Mg	S
Koncentrace [mg/l]	4 170	254	1 610	22 900	2 920	459

Tabulka 2: Obsah makroprvků v testovaném hnojivu

Prvek	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Koncentrace [mg/l]	73	4,3	1,84	10,4	0,950

Tabulka 3: Obsah mikroprvků v testovaném hnojivu

Prvek	Ni	Na	Al	As	Cd	Cr	Pb
Koncentrace [mg/l]	<0,005	134	32,3	<0,03	<0,001	<0,005	<0,02

Tabulka 4: Obsah dalších prvků v testovaném hnojivu

V rámci laboratorní fáze uvedeného projektu byly realizovány testy chemického srážení fosforu s následným testováním získaného hnojiva. Zároveň byla pozornost věnována separačním vlastnostem získané sraženiny. Pro srážecí testy byly voleny zejména chemikálie, které by svým složením obohatily vzniklé fosforečné hnojivo o mikro- a makronutrienty. Testováno bylo vápenné mléko (Ca(OH)₂), dolomit (CaMg(CO₃)₂), síran hořečnatý (MgSO₄), síran železitý (Fe₂(SO₄)₃) a jejich kombinace včetně přídatných chemikálií. Získaná hnojiva byla podrobena laboratorním testům za účelem zjištění celkového, potenciálně dostupného a okamžitě uvolnitelného obsahu makro- a mikroživin. Zároveň byl kvantifikován obsah rizikových prvků a posuzována byla fytoxicita získaných produktů. Na základě těchto testů s ohledem na materiálovou a ekonomickou bilanci bylo vybráno hnojivo k vegetačním pokusům s rostlinami na půdách odlišných vlastností ve vegetační hale KAVR ČZU. Jako testovací plodina byla zvolena s ohledem na vysoký nárok na fosfor kukuřice. Vegetační pokusy nejsou dosud ukončeny, stále probíhají a bude u nich hodnocena dynamika produkce biomasy, celkový obsah živin v rostlinách a přístupný obsah živin v půdě. Výsledky zjištěné ve variantách s produktem testovaným ke hnojení budou porovnány s komerčně vyráběnými hnojivy.

Pro přehled uvádíme pro první testované hnojivo jeho základní charakteristiky. Obsah fosforu ve vstupní surovině pro výrobu hnojiva, tedy v kalové vodě, činil 111 mg/l. Proces získání hnojiva zahrnoval úpravu/zvýšení pH pomocí Ca(OH)₂, srážení přídatkem MgSO₄, 15minutovou flokulaci, 15minutovou separaci sraženiny prostou sedimentací a gravitační zahušťování. Těmito procesy bylo získáno 5 litrů kapalného hnojiva o celkové sušině 7,4 %. Efektivita převedení fosforu do sraženiny zvoleným způsobem je nad 90 %. Obsah makroprvků

a mikroprvků v získané suspenzi/hnojivu je uveden v tabulce 2 až 4.

Na základě již provedených laboratorních testů je nyní konstruována pilotní jednotka, která zahrnuje stupeň úpravy pH provzdušňováním a dávkováním zásadité chemikálie, stupeň koagulace umožňující provoz jedné nebo dvou koagulačních nádrží a stupeň separace představující prostou sedimentaci v lamelovém separátoru, alternativně bude jednotka doplněna zahušťováním a odvodněním suspenze. Cílem bude získat suspenzní hnojivo, vhodné především k základnímu hnojení rostlin.

Jak bylo uvedeno výše, vegetační pokus s prvním testovaným hnojivem v současnosti probíhá, výsledky očekáváme koncem roku. Zároveň nadále probíhá optimalizace chemických srážecích testů se separací sraženiny, resp. probíhá optimalizace složení hnojiva s následnými, výše uvedenými testy. V průběhu tohoto roku očekáváme dokončení výroby a zahájení testů na pilotní jednotce, kde budou probíhat poloprovozní testy založené na stávajících a budoucích laboratorních výsledcích. Projekt bude ukončen v roce 2026, kdy budou vyhodnocena poloprovozní a laboratorní data.

ZDROJE A ODKAZY:

- [1] Trade Statistics by Product [online]. Dostupné z: <https://wits.worldbank.org/trade/country-byhs6product.aspx?lang=en>
- [2] Evropská rada, Rada EU. Evropský akt o kritických surovinách pro budoucnost dodavatelských řetězců EU [online]. Dostupné z: www.consilium.europa.eu/cs/infographics/critical-raw-materials/#0.
- [3] European Sustainable Phosphorus Platform [online]. Dostupné z: <https://www.phosphorusplatform.eu/>.
- [4] Hušek, M., J. Moško a M. Pohořelý, 2023. Monospalování čistírenských kalů jako cesta ke kritické surovině. Odpadové fórum [online]. 24(6), 16-18. ISSN: 1212-7779.
- [5] Haotian Wu, Céline Vaneckhaute, 2022. Nutrient recovery from wastewater: A review on the integrated Physicochemical technologies of ammonia stripping, adsorption and struvite precipitation. Chemical Engineering Journal [online]. 433(3), 133664. ISSN: 1385-8947. Dostupné z doi.org/10.1016/j.cej.2021.133664.

ODPADOVÉ FÓRUM

WASTE AND CIRCULAR MANAGEMENT FORUM
Ročník 26

Červenec/Srpen 2025

VYDAVATEL

CEMC – České ekologické manažerské centrum, z. s.
IČO: 45249741, www.cemc.cz

REDAKCE

28. pluku 25, 101 00 Praha 10
e-mail: forum@cemc.cz
www.odpadoveforum.cz
www.facebook.com/odpadoveforum

Šéfredaktor

Ing. Jiří Študent ml., tel.: (+420) 602 617 616

Redaktorka

Klára Křepáčková

Inzerce

tel.: (+420) 608 819 699
e-mail: inzerce@cemc.cz

Korektura

Mgr. Anna Vrbová

Redakční rada

Ing. Petr Novotný, Ing. Richard Blahut
Ing. Petr Havelka, Ing. Marek Hrabčák
Ing. Jiří Jungmann, Ing. Pavlína Kulhánková
prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc.
Ing. Lukáš Kús, Ing. Jaromír Manhart
Ing. Emil Polívka, Ing. Dagmar Sirotková
doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
prof. Ing. Lubomír Šooš, Ing. Miloš Šťastný
Ing. Petr Šulc, MUDr. Magdalena Zimová, CSc.
prof. Ing. Jaroslav Hyžík, Ph.D.
Bc. Milan Doubravský

PŘEDPLATNÉ A EXPEDICE

SEND Předplatné, spol. s r. o.

e-mail: of@send.cz

roční předplatné (11 čísel) 1400 Kč
cena jednotlivého čísla 130 Kč

Předplatné a distribuce v SR

Mediaprint-Kappa Pressegrasso, a. s.
oddelenie inej formy predaja
e-mail: předplatne@abompkappa.sk
roční předplatné (11 čísel) 68,2 €
cena jednotlivého čísla 6,2 €

DTP

Michaela Nussbergerová

Foto na titulní straně: Adobe stock

TISK

Grafotechna Plus, s. r. o.

e-mail: severa@gtplus.cz

Za věcnou správnost příspěvků ručí autoři.
Nevyžádané příspěvky se nevracejí. Jakékoli
užití celku nebo části časopisu rozmnožováním
je bez písemného souhlasu vydavatele zakázáno.

ISSN: 1212-7779 / MK ČR E 8344

Rukopisy do sazby: 30. června 2025

Vychází: 7. července 2025



Kalendář odborných akcí a seminářů

- | | |
|-------------|--|
| 10. 7. | iKURZ: Práce s modulem PIO/ZPO v IS ENVITA ve vazbě na požadavky legislativy
www.inisoft.cz |
| 29. 7. | iKURZ: Biologicky rozložitelné odpady včetně kalů a specifika nakládání s nimi od 1. 1. 2025
www.inisoft.cz |
| 26. 8. | iKURZ: Provoz sběrného dvora v souladu s požadavky obecního systému a změny v průběžné evidenci odpadů od 1. 1. 2025 v souvislosti s koncem přechodných ustanovení zákona o odpadech
www.inisoft.cz |
| 2. 9. | Práce s IS ENVITA na PC – základy používání programu
Opakování: 3. 9.
www.inisoft.cz |
| 4. 9. | iKURZ: Stavební a demoliční odpady a nakládání s nimi po 1. 1. 2025 u původce i oprávněné osoby – evidence, využití, recyklace
www.inisoft.cz |
| 9. 9. | Vodní zákon po novele novým stavebním zákonem, zákonem č. 87/2025 Sb. a „fosforová“ novela
www.ekomonitor.cz |
| 9. 9. | iKURZ: Obecní systémy a sběr dat a podkladů pro hlášení o obecním systému – metodika správného vedení evidence pro ohlašování za rok 2025
www.inisoft.cz |
| 10. 9. | iKURZ: Teorie, praxe a příklady vedení průběžné evidence odpadů pro snadné ohlašování za rok 2025 – zaměřeno na provozovatele zařízení pro nakládání s odpady
www.inisoft.cz |
| 17.–19. 9. | ODPADY LUHAČOVICE 2025
www.jogaluhacovice.cz |
| 7.–10. 10. | Pollutec
www.pollutec.com |
| 9. 10. | Aktuální témata lesního hospodářství
www.ekomonitor.cz |
| 14.–16. 10. | Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí (TVIP 2025)
APROCHEM
ODPADOVÉ FÓRUM
www.tvip.cz |
| 4. 11. | Biomasa, bioplyn a energetika 2025
www.biom.cz |
| 4–7. 11. | Ecomondo
www.ecomondo.com |
| 11.–12. 11. | Povinnosti v podnikové ekologii
www.konferenceppe.cz |
| 13. 11. | Předcházení vzniku odpadů 2025
www.predchazeniodpadu.cz |