

Od odpadu ke zdroji – Recyklace popela z čistírenských kalů na rostlinné hnojivo bohaté na fosfáty

Jak lze fosfor obsažený v čistírenském kalu využít ke zlepšení završení jeho cyklu.



Motivace

Fosfor je nezbytným hnojivem v zemědělské produkci, ale jeho zásoby jsou omezené, geograficky soustředěné a těžba probíhá za nepříznivých podmínek. Od roku 2014 je fosfor na seznamu kritických surovin EU kvůli své důležitosti a vysoké závislosti na dovozu. Přibližně 90 % fosforu z odpadních vod je zachyceno v čistírenském kalu – což představuje téměř 7 000 tun ročně v Rakousku a 8 000 tun v České republice.

Způsob nakládání s čistírenským kalem se v obou zemích liší. V České republice stále převažuje jeho využití v zemědělství, zatímco v Rakousku se většina kalu spaluje; ve Vídni se uplatňuje tzv. mono-spalování. Do roku 2033 bude Rakousko kromě lokálních řešení vyžadovat povinné spalování pro větší čistírny odpadních vod, přičemž z popela bude nutné získat zpět 80 % fosforu. Česká republika plánuje zpřísnění legislativy, které omezí využití kalu v zemědělství, a směřuje tak k alternativním způsobům nakládání, přičemž hlavní variantou bude termické zpracování.

Získávání fosforu z popela čistírenského kalu je náročné kvůli přítomnosti těžkých kovů. Použití průmyslových kyselin k loužení a následné srážení činí celý proces ekonomicky i environmentálně problematickým. V projektu PHOS4PLANT se proto zkoumají alternativní způsoby spalování kalu, loužení a srážení fosforu, které by mohly představovat ekologicky šetnou alternativu pro výrobu kvalitního hnojiva založeného na biologických procesech.

Současný stav výzkumu v rámci pracovního balíčku 2

Obohacování acidofilních bakterií z čistírenského kalu

Aby bylo možné získat mikroorganismy z čistírenského kalu vhodné pro bioloužení, byl odebrán vzorek aktivovaného kalu z čistírny odpadních vod v Dolním Rakousku (Obr. 1). Mikroorganismy obsažené v tomto kalu byly následně obohaceny pro bioloužení fosforu z popela čistírenského kalu.

Byl proveden přehled odborné literatury s cílem vybrat vhodné kultivační médium běžně používané pro růst mikroorganismů určených k biologickému loužení. Díky zvolenému kultivačnímu mediu bylo možné udržet základní složení živin konstantní a měnit pouze složky substrátu potřebné k obohacení autotrofních a heterotrofních mikroorganismů s různými vlastnostmi – oxidujících síru, oxidujících železo, smíšených kultur oxidujících síru i železo.

Další výhodou zvoleného kultivačního média pro obohacování bylo optimální využití potřebných živin, které bývají často do médií přidávány v nadbytku. Díky tomu médium poskytlo vhodné podmínky pro obohacení a kultivaci acidofilních mikrobiálních druhů. Mikroorganismy byly selektivně obohacovány opakovaným přenosem do čerstvého kultivačního média během tří kol kultivace.



Obr. 1. Místo odběru vzorku pro obohacení mikroorganismů určených k bioloužení.

V první fázi kultivace byly mikroorganismy pěstovány po dobu tří týdnů. Tato doba poskytla vybraným druhům dostatek času k adaptaci na odlišné podmínky v kultivačním mediu pro bioloužení a na teplotu, která se liší od jejich přirozeného prostředí v aktivovaném kalu. Úspěšně obohacené smíšené kultury z čistírenského kalu byly následně uchovávány na univerzitě BOKU jako živé kultury pro další použití v navazujících testech biologického loužení. Připravené vzorky byly rovněž zaslány na Masarykovu univerzitu (MU) k identifikaci mikroorganismů. Mikrobiální společenstva obohacených kultur byly následně charakterizovány.

Výsledky analýzy 16S rRNA u obohacených kultur oxidujících síru po třech kolech obohacování, z nichž každé trvalo minimálně 14 dní, ukázaly, že zástupci čeledi *Eubacteriaceae* (třída *Clostridia*) tvořili 24,4 % mikrobiální populace. Tyto bakterie, spolu s dalšími pěti nejhojněji zastoupenými mikroorganismy v obohacené kultuře oxidující síru, lze označit za typické představitele mikroflóry kalů z čistíren odpadních vod. Kromě těchto běžných mikroorganismů byl zjištěn také výskyt bakterie *Desulfovibrio desulfuricans*, která tvořila 2,3 % mikrobiálního společenstva. Podle literatury se tento organismus vyznačuje výrazně rozvinutým metabolismem síry.

Protože *D. desulfuricans* je schopný síru pouze redukovat, je k oxidaci síry a dosažení potřebného snížení pH pro kyselé loužení fosforu zapotřebí alespoň ještě jeden další mikroorganismus. V tomto ohledu by mohla bakterie *Alicyclobacillus disulfidooxidans*, která tvořila 0,6 % mikrobiálního společenstva, poskytovat potřebnou metabolickou dráhu k úplné přeměně elementární síry.

Obohacování acidofilních bakterií z aktivovaného čistírenského kalu využívá schopnosti mikroorganismů, které jsou již v kalu přirozeně přítomny, k loužení fosforu z popela čistírenského kalu.

Aktivity zaměřené na šíření výsledků

Společnost K1-MET se zúčastnila 9. ročníku konference Mezinárodní společnosti pro mikrobiální elektrochemii a technologii (ISMET), která se konala v německém Lipsku od 16. do 19. září 2025. Tato mezinárodní konference sdružuje odborníky z celého světa, kteří se zabývají mikrobiálními elektrochemickými technologiemi, a poskytuje platformu pro sdílení inovací a výzkumných poznatků. Marianne Haberbauer zde představila projekt formou posteru s názvem „Bioelektrochemická precipitace struvitu ze syntetického výluhu za použití elektroaktivních mikroorganismů v dvoukomorovém systému“.

Dále se 8. května 2025 Marianne Haberbauer zúčastnila International Life Science Meeting 2025 pořádaného na IMC Krems, kde přednesla příspěvek s názvem „Bioelektrochemické systémy pro recyklační procesy“. Tato prezentace poskytla příležitost představit cíle projektu PHOS4PLANT.

Masarykova univerzita představila projekt PHOS4PLANT během akce Noc vědců, která se konala 26. září 2025 v kampusu univerzity v Brně.

Vysoké učení technické v Brně (VUT) vede přípravu prvního projektového workshopu s názvem „Fosfor a dál: Cirkulární přístupy v nakládání s odpady“, který se uskuteční 26. listopadu 2025 v Brně.

Univerzita BOKU se zúčastnila 20. mezinárodního sympozia o nakládání s odpady, využívání zdrojů a udržitelném skládání (Sardinia Symposium 2025), kde prezentovala nejnovější pokroky dosažené v rámci projektu. Článek o této prezentaci byl publikován ve sborníku konference.

Zapojení partneři



Společnost K1-MET má odborné zkušenosti s vývojem a optimalizací procesů pro zpracování zbytkových a recyklačních materiálů s cílem získávat cenné suroviny a uzavírat materiálové cykly. Úkolem K1-MET v projektu je proto získávání fosforu z popela čistírenských kalů prostřednictvím nepřímého bioloužení nebo loužení kyselinami a následná výroba rostlinného hnojiva bohatého na fosfáty. Tento proces je zároveň spojen s odstraňováním nečistot, například kovů, z popela čistírenských kalů. K1-MET je hlavním řešitelem (vedoucím partnerem) tohoto projektu.



Masarykova univerzita (MU) je druhou největší univerzitou v České republice. Na projektu se podílí Ústav biochemie, Ústav chemie a Ústav geologických věd. MU tým má mnohaleté zkušenosti v oblastech acidofilních mikroorganismů, molekulárních mechanismů interakcí mezi rostlinami a mikroorganismy, strukturně-funkční analýzy mikrobiálních společenstev, minerální analýzy a analýzy stopových prvků.



Do projektu je zapojen také tým z Ústavu procesního inženýrství Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně (VUT), konkrétně z oddělení termických procesů a čištění plynů. Tento tým má rozsáhlé zkušenosti v oblasti termických procesů a čištění emisí. V rámci projektu je zodpovědný za produkci popela z čistírenského kalu. Ústav disponuje bubnovou sušárnou a rotační pecí, které jsou nezbytné pro experimenty v poloprodučním měřítku. Kromě toho má k dispozici analytickou infrastrukturu pro měření vlastností paliv a odpadů a pro analýzu emisí spalin.



Institut pro nakládání s odpady a cirkularitu (ABFK-BOKU) se zaměřuje na bezpečné odstraňování a recyklaci odpadů s cílem snižovat jejich množství a šetřit primární zdroje v primární výrobě. Jeho úkoly v projektu zahrnují předúpravu vysoce alkalických popelů, které brání biologickému loužení tohoto materiálu, bioloužení popela z čistírenských kalů a identifikaci acidofilních bakterií z čistírenského kalu. Kromě toho bude celý proces vyhodnocen pomocí posouzení životního cyklu (LCA).



Spolufinancováno
Evropskou unií



PHOS4PLANT



EVROPSKÁ UNIE

Projekt PHOS4PLANT (ATCZ00043) je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj v rámci programu Interreg Rakousko – Česko 2021 – 2027.

Odpovědnost za obsah: Patrick Gerl (ABFK-BOKU) | Překlad do češtiny: Jiří Kučera

Strana 4/4