

Biotechnologie otevírá nové možnosti recyklace betonu

24.7.2026 - | Grantová agentura České republiky

Projekt financovaný Grantovou agenturou České republiky (GA ČR) navázal na jednu z největších výzev stavebnictví: cementářský průmysl sice postupně snižuje emise, stále však výrazně přispívá ke globální produkci oxidu uhličitého. Zatímco hrubé frakce recyklovaného betonu nacházejí uplatnění poměrně snadno, podsítné frakce představují problematický odpad.

Ambice vědců z Českého vysokého učení technického v Praze (ČVUT) a Vysoké školy chemicko-technologické (VŠCHT) byla proto jasná: ukázat, že právě tyto jemné částice lze spojit a proměnit v materiál s užitnou hodnotou a současně otevřít cestu k ukládání uhlíku v pevné fázi.

Biocementace jako cesta k novému materiálu

Vědci využili mikrobiálně indukované srážení uhličitanu vápenatého (*microbially induced calcite precipitation* – MICP), kdy mikroorganismy za specifických podmínek tvoří krystaly uhličitanu vápenatého (CaCO_3), které tyto jemné frakce spojí v pevný kompozitní vzorek.

Vědecky šlo o neprobádané území: v dostupné literatuře nebyla technologie MICP pro vázání nejjemnějších částic odpadního betonu popsána, přesto dosavadní poznatky z biocementace dávaly naději, že lze propojit cirkulární ekonomiku stavebních materiálů s biotechnologií.

Mezioborový výzkum ČVUT a VŠCHT

Náplní tříletého výzkumného projektu byla komplexní agenda rozdělená do čtyř vzájemně provázaných okruhů. Na Fakultě potravinářské a biochemické technologie VŠCHT pod vedením doc. Ing. Hany Stiborové, Ph.D., probíhal výběr vhodných bakteriálních kmenů, optimalizace kultivačních podmínek a sledování vlivu různých metabolických drah na tvorbu CaCO_3 v suspenzích podsítných frakcí recyklovaného betonu.

Na Fakultě stavební ČVUT naopak stála mikrostrukturální a mechanická charakterizace vzniklých konglomerátů – od elektronové mikroskopie a fázové analýzy přes nanoindentaci až po makroskopické tlakové a lomové zkoušky a následné mikromechanické modelování. Mezi oběma týmy průběžně proudily vzorky, data i interpretace, takže biologické experimenty neprobíhaly izolovaně od materiálového hodnocení, ale tvořily jeden společný výzkumný příběh.

Spolupráce mezi katedrami a mezi oběma univerzitami se ukázala jako klíčová pro pochopení problematiky v celé její hloubce. Mikrobiologové z VŠCHT přinášeli zkušenosti s kultivací bakterií, identifikací kmenů a hodnocením například ureasové či karbonátanhydrosóvové aktivity; materiáloví inženýři a odborníci na mikroskopii z Fakulty stavební ČVUT se zabývali vztahem mezi mikroskopickými ději a pevností připravovaných vzorků. Materiál pro experimenty dodaly společnosti ENVISAN GEM, a.s., a Moravostav družstvo, což umožnilo testovat postupy na reálném odpadu, nikoli jen na laboratorních modelových směsích.

Od ureolytických bakterií k ekologičtějším procesům

Projekt postupně přinesl výsledky, které v několika směrech překonaly původní očekávání. V počátcích se práce soustředila na ureolytické bakterie, zejména *Sporosarcina pasteurii*, a prokázala,

že proces MICP dokáže zvýšit obsah uhličitanu vápenatého, snížit porozitu a zlepšit tuhost materiálu až na úroveň přibližně pětiny tuhosti pórobetonu.

Postupně se však ukázalo, že perspektivnější cestou jsou zejména fakultativně anaerobní kmeny *Alkalihalophiluspseudofirmus* a *Sutcliffiella cohnii* využívající metabolickou dráhu oxidace organických sloučenin. Tyto organismy nejen podporují srážení CaCO_3 , ale v materiálech bohatých na síru významně urychlují a podporují tvorbu Aft fází, zejména ettringitu a thaumasitu, které výrazně zvyšují soudržnost konglomerátu. Tento posun směrem od ureolytických procesů má i praktický ekologický význam, neboť se nepodílí na produkci a uvolňování amoniaku do okolí.

Mikrostruktura, mechanické vlastnosti a modelování

Tým na ČVUT paralelně detailně mapoval mikrostrukturu cementovaných vzorků pomocí SEM, EDS, XRD, TGA a nanoindentace a propojil experimentální data s mikromechanickým modelem. Ten dokázal vysvětlit vztah mezi poklesem porozity a růstem efektivního Youngova modulu a ověřil, že pozorované trendy tuhosti lze predikovat z parametrů mikrostruktury.

Výstupy projektu a cesta k dalšímu rozvoji technologie

Součástí výstupů se staly také přehledové a metodické publikace, které shrnují možnosti využití bakterií při recyklaci nejjemnějších frakcí betonového odpadu, a práce s hodnocením environmentálních přínosů včetně spolupráce se Salfordskou univerzitou či Univerzitou Johannese Gutenberga v Mohuči na analýze životního cyklu a charakterizaci mikrostruktury materiálů.

V průběhu řešení vzniklo devět recenzovaných publikací v impaktovaných časopisech a ve sbornících mezinárodních konferencí, mezi nimiž vynikají zejména články v časopisech *Cement and Concrete Composites*, *Powder Technology*, *Journal of Cleaner Production* či *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. Závěrečné hodnocení GA ČR projekt označilo za excelentní a potvrdilo, že cíle projektu byly naplněny.

Úspěchy projektu nespočívají jen v počtech publikací a citací. Podařilo se vybudovat stabilní mezioborový tým, zapojit doktorandy a studenty do řešení reálné aplikační problematiky, navázat zahraniční spolupráci s odborníky na MICP a otevřít předběžný dialog s průmyslovým partnerem o možnostech dalšího škálování technologie. Projekt tak přinesl nejen laboratorní důkaz konceptu, ale i argumentaci pro podpoření dalšího výzkumu v oblasti recyklačních technologií, které odpovídají národním prioritám VaVaI v oblasti environmentálně šetrných materiálů a nových recyklačních postupů.

<https://gacr.cz/biotechnologie-otevira-nove-moznosti-recyklace-betonu>