



| | |
|-------------------------|---|
| Projekt financovaný: | Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied |
| Typ a číslo projektu: | VEGA 1/0230/21 |
| Názov projektu: | Environmentálna kvalita a životný cyklus stavebných materiálov |
| Vedúci projektu: | prof. RNDr. Adriana EŠTOKOVÁ, PhD. |
| Riešitelia projektu: | Ing. Marcela ONDOVÁ, PhD. prof. Ing. Silvia VILČEKOVÁ, PhD. Ing. Mgr. Róbert FIGMIG Ing. Martina WOLFOVÁ doc. Ing. Alena PAULIKOVÁ, PhD. Ing. Daniela CVELIHÁROVÁ Ing. Miriama HOLOŠOVÁ Mgr. Katarína HARČÁROVÁ Ing. Peter BUJANSKÝ Ing. Eva SINGOVŠKÁ, PhD. |
| Doba riešenia projektu: | 1.1.2021 – 31.12.2024 |

ANOTÁCIA

V súvislosti s trendmi udržateľnosti sa pri výrobe stavebných materiálov v čoraz vyššej miere uplatňujú priemyselné odpady za účelom zníženia uhlíkovej stopy a vyčerpávania prírodných zdrojov. Táto problematika v oblasti cementových kompozitov nie je nová, avšak doteraz sa pozornosť venovala najmä štúdiu fyzikálno-mechanických vlastností kompozitov.

Navrhovaný projekt sa zameriaval na experimentálne štúdium environmentálnej kvality cementových kompozitov s rôznymi priemyselnými odpadmi. Špeciálna pozornosť bola okrem štúdia parametrov trvanlivosti venovaná rizikovým faktorom, ako zvýšenie rádioaktivity a vyluhovateľnosti kovov z cementových kompozitov v dôsledku prítomnosti odpadov. Originálnym prínosom projektu je aj zhodnotenie celkových environmentálnych vplyvov takýchto kompozitov a iných stavebných materiálov počas ich životného cyklu.

DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

V rámci riešenia projektu boli navrhnuté a študované cementové kompozity s rôznymi náhradami spojiva či už klasickými alebo alternatívnymi surovinami na báze odpadov, ako boli prírodný zeolit, popolček a kremičitý úlet ako tradičné náhrady, ako aj vaječné škrupiny, tehlový recyklát, odprašky z cementárskych pecí, drvený sklenený odpad a iné. Štúdium vlastností cementových kompozitov s náhradou cementu sekundárnymi surovinami potvrdilo rôzne vlastnosti vzoriek odlišujúce sa nielen voči referenčnej vzorke, ale aj medzi vzorkami navzájom. Napriek tomu bol stupeň hydratácie kompozitov s odpadmi porovnateľný s referenčnou vzorkou. Pri pevnostných parametroch a nasiakavostiach sa najviac vymykali trendu kompozity s obsahom bypasového odprašku. Kompozity s obsahom trosky, tehly, popolčeka a ílov v pevnostiach prevýšili hodnoty pre referenčnú vzorku alebo sa k nej približovali, rovnako ako v nasiakavostiach. Vzorky s obsahom týchto náhrad na úrovni 20 % by sa dali všeobecne označiť ako vhodné prímеси vzhľadom na skúmané parametre. Výskum mletej oceliarskej trosky potvrdil, že jej použitie ako náhrady cementu do 30 % zlepšuje spracovateľnosť čerstvej cementovej pasty, predlžuje dobu tuhnutia a dlhodobé pevnostné vlastnosti po 180 dňoch dosahujú úroveň konvenčných materiálov. Zároveň sa preukázalo významné zníženie klimatických dopadov pri minimálnych energetických nákladoch na mletie trosky. Na základe



experimentálnych výsledkov bol navrhnutý rámec pre hodnotenie prísad, ktorý môže byť aplikovaný na zlepšenie parametrov cementových kompozitov.

Štúdium odolnosti cementových pást obsahujúcich rôzne náhrady cementu voči kyslým dažďom ukázalo, že tieto prísady významne znižujú priepustnosť a zvyšujú odolnosť voči korózii. Cementové pasty s prídavkom zeolitu a popolčeka preukázali najvyšší pozitívny vplyv, čo sa prejavilo znížením prenikania agresívnych iónov do vnútornej štruktúry. Skúmanie chemickej síranovej korózie cementových kompozitov ukázalo, že najstabilnejšie materiály obsahujúce trosku vykazujú najnižšiu mieru vylúhovania alkálií aj pri agresívnych modelových roztokoch. Pri krátkodobých simuláciách, ktoré zodpovedali ročným reálnym podmienkam prevládali hydratačné procesy nad korozívnymi, čo potvrdili nárast pevnosti v tlaku a pokles nasiakavosti po expozícii ale aj XRD a FTIR analýza a nárast stupňov hydratácie. Pri dlhodobom pôsobení bol pozorovaný výraznejší degradačný efekt, ktorý sa prejavil poklesom pevnostných parametrov kompozitov po síranovom koróznom experimente aj u netradičných prísad ako biopopelček či vaječné škrupinky. Tieto výsledky podporujú potenciál využívania vedľajších produktov pri výrobe udržateľných cementových materiálov. Bola navrhnutá metodika hodnotenia trvanlivosti betónu na základe urýchlenej skúšky prenikania chloridových iónov, keďže táto kvalifikačná skúška, metodicky i časovo pomerne nenáročná, nie je v lokálnych ani regionálnych podmienkach využívaná. Diagnostika betónových a murovacích materiálov v starších stavbách priniesla cenné poznatky o ich poškodení a odolnosti voči korózii. Analytické metódy, ako XRF a XRD, odhalili rozdiely v poškodení v závislosti od orientácie stavby a hĺbky vzoriek. Karbonatizácia materiálov sa pohybovala v rozmedzí 12,5 % až 44,8 %.

Dôležitou súčasťou riešenia projektu bola aj analýza environmentálnej bezpečnosti kompozitov vo väzbe na vyluhovateľnosť nebezpečných kovov ako aj analýza ionizačného rizika stavebných materiálov v budovách. Krátkodobé ani dlhodobé testy vyluhovateľnosti nepreukázali zvýšené riziko cementových kompozitov so zabudovanými priemyselnými odpadmi. Merania aktivít prírodných rádionuklidov v materiáloch v rôznych budovách sa pohybovali v priemere od 6,8 do 8,9 Bq/kg pre ^{226}Ra , 23,0 až 61,6 Bq/kg pre ^{232}Th a 341 až 782 Bq/kg pre ^{40}K . Celková koncentrácia rádioaktivity v stavebných materiáloch (594,0 Bq/kg) prekračovala svetový priemer, pričom vnútorné dávky a ročné efektívne dávky boli o 13 % a 14 % vyššie ako priemer. Podobne aj efektívna dávka bola mierne nad odporúčanou hodnotou (0,52 mSv/rok). Napriek tomu možno konštatovať, že obsah rádionuklidov nepredstavuje významné riziko pre zdravie obyvateľov.

Posudzovanie environmentálnych vplyvov sa porovnávalo prostredníctvom LCA metód. Hodnotenie vplyvu náhrad cementu v cementových kompozitoch na globálne otepľovanie (GWP) preukázalo zníženie GWP od 9 % do 20 % v porovnaní s referenčnou vzorkou bez náhrady, čo dokazuje pozitívny vplyv týchto náhrad na zníženie emisií skleníkových plynov. Pri hodnotení efektivity redukcie uhlíkovej stopy so zohľadnením pevnostných parametrov sa ako najefektívnejšia náhrada ukázal tehlový recyklát s najvyššou mierou zníženia uhlíkovej stopy. Vysokú efektivitu vykazovali aj vzorky s obsahom biopopelčeka, ílov a vysokopecnej trosky. Štúdium environmentálnych vplyvov sa realizovalo nielen na úrovni navrhnutých cementových kompozitov, ale aj na už existujúcich konštrukciách a budovách. Analýza životného cyklu murovaných obytných budov preukázala, že stavebné materiály prispievajú k zmene klímy na úrovni 21,59 kg CO₂ eq/m²/rok, pričom vyčerpávanie vodných zdrojov predstavovalo v priemere 15,87 m³/m²/rok. Vertikálne konštrukcie vykazovali vyššie environmentálne dopady ako horizontálne. Tieto poznatky naznačujú potenciál pre optimalizáciu návrhu stavieb s cieľom znížiť ich environmentálne zaťaženie. Významná časť emisií (10,9 % až 12,3 %) bola spojená s dopravou stavebných materiálov. Analýza ukázala, že výber dopravnej metódy má zásadný vplyv na výsledný environmentálny dopad. Doprava železnicou znížila emisie až o 4,9 kg CO₂ eq na 1 km prepravovanej vzdialenosti. Potvrdilo sa, že pri zohľadnení rôznych faktorov vstupujúcich do procesu výstavby, je potrebné zachovať rovnováhu medzi technologickými, environmentálnymi a ekonomickými aspektmi.



Výsledky riešenia projektu boli **publikované** v domácich aj zahraničných časopisoch a prezentované na domácich a zahraničných konferenciách. Celkovo počas riešenia projektu vzniklo 39 publikácií, z toho bola 1 monografia v domácom vydavateľstve, 1 kapitola v monografii v zahraničí, 5 publikácií v zahraničných karentovaných časopisoch, 2 publikácie v domácich časopisoch, 8 publikácií v časopisoch v databázach WOS a SCOPUS a 10 publikácií v zborníkoch v databázach WOS a SCOPUS. Na publikácie, ktoré vznikli na základe výsledkov projektu je doposiaľ 86 citácií, z toho 55 citácií v databáze SCOPUS a 43 v databáze WOS.