

Využitie odpadov pre zvýšenie trvanlivosti cementových kompozitov

Adriana EŠTOKOVÁ, Miriama ČAMBÁL HOLOŠOVÁ, Martin JAŠ, Alena SIČÁKOVÁ

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Inštitút pre udržateľné a cirkulárne stavebníctvo, Oddelenie materiálového inžinierstva, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovensko

e-mail: adriana.estokova@tuke.sk

Souhrn

Prezentovaný výskum sa zameriava na použitie špecifických odpadových materiálov ako náhrady cementu v cementových kompozitoch. Primárnym cieľom je zistiť, či použitie netradičných odpadov môže viesť k pozitívnym zmenám v fyzikálno-mechanických a trvanlivostných parametroch cementových kompozitov. Cementové malty s 20% náhradou cementu rôznymi odpadmi boli porovnávané s referenčnými kompozitami bez náhrady cementu. Pri analýze sa študovali zmeny vybraných fyzikálno-mechanických parametrov vrátane pevnosti v tlaku a ťahu pri ohybe, objemovej hmotnosti, nasiakavosti a konzistencie čerstvej zmesi. Osobitný dôraz sa kládol na trvanlivosť kompozitov, pričom jedným z parametrov bola penetrácia agresívnych iónov. Výsledky experimentov ukázali, že kompozity s náhradou cementu vaječnými škrupinkami vykazovali uspokojivé výsledky vo väzbe na skúmané technické a trvanlivostné parametre. Kompozity obsahujúce vysokopecnú trosku vykazovali dobrú odolnosť voči prenikaniu agresívnych iónov podľa očakávania.

Kľúčová slova: vysokopecná troska, sklo, vaječné škrupinky, cementový kompozit, náhrada cementu.

Úvod

Betón ako cementový kompozit je jedným z najbežnejších stavebných materiálov, ktorý sa používa na výstavbu budov, ciest, mostov a ďalšej infraštruktúry¹. Jeho výroba je však spojená s významným negatívnym vplyvom na životné prostredie a vyčerpávanie prírodných zdrojov². V súčasnej dobe je čoraz viac snáh o udržateľnosť a zníženie uhlíkovej stopy pri výrobe betónu. Jedným z prístupov k dosiahnutiu týchto cieľov je využitie odpadov v procese výroby betónu. Tradičné suroviny pre výrobu betónu zahŕňajú cement, piesok, štrk a vodu. Cement je však zodpovedný za výraznú časť emisií skleníkových plynov počas svojej výroby, a piesok je vzácny prírodný zdroj, ktorý je často neudržateľne ťažený³. Preto je dôležité preskúmať alternatívy, ktoré by minimalizovali negatívny vplyv výroby betónu na životné prostredie.

Jedným z prístupov k zníženiu environmentálnych vplyvov je využitie recyklovaných materiálov. Recyklácia stavebného demoličného odpadu môže byť efektívnym spôsobom zníženia množstva odpadu a zároveň zníženia potreby ťažby nových surovín⁴. Odpady z betónu, ktoré sú spracované a znovupoužitie v nových betónových zmesiach, nazývame recyklovaný betón. Recyklovaný betón môže byť použitý ako náhrada za časť prírodných surovín, najčastejšie frakcie prírodného kameniva. Týmto spôsobom sa nielen minimalizuje množstvo stavebného odpadu, ale aj znižuje potreba nového ťaženia surovín. Navyše, recyklovaný betón môže dosahovať podobné alebo dokonca lepšie vlastnosti ako tradičný betón, pokiaľ ide o pevnosť a odolnosť⁵.

Okrem využívania recyklovaného betónu existujú aj iné inovatívne prístupy k udržateľnej výrobe betónu⁶. Jedným z nich je vývoj nových typov cementu s nižším obsahom slinku, ktorý je hlavnou príčinou emisií skleníkových plynov pri výrobe cementu⁷. Cementový priemysel je známy svojimi vysokými emisiami skleníkových plynov a vysokou spotrebou energie, preto hľadanie udržateľnejších alternatív stáva prioritou. Ďalšie inovácie zahŕňajú výskum alternatívnych spojív a aditív, ktoré by mohli nahradzovať časť cementu bez straty pevnosti a trvanlivosti betónu⁸. Náhradou cementu sa nielenže

znižuje množstvo priemyselného odpadu končiaceho na skládkach, ale znižuje sa aj uhlíková stopa cementových kompozitov⁹. Okrem toho existujú poznatky o zlepšení vybraných vlastností, napr. trvanlivosti cementových kompozitov na báze rôznych odpadov v agresívnom prostredí¹⁰. Cement možno nahradiť druhotnými surovinami z výroby v prípade, ak tieto vykazujú puzolánové alebo latentné hydraulické vlastnosti. Medzi tradičné priemyselné odpady, ktoré sa využívajú ako náhrady pre výrobu cementových kompozitov patria: popolčeky, vysokopecná troska, mikrosilika¹¹.

Výskumy potvrdili, že optimálne množstvá takýchto náhrad majú za výsledok porovnateľné alebo aj lepšie technické vlastnosti výsledných kompozitov, čo sa týka napr. ich trvanlivosti. Je dobre zdokumentované, že materiály na báze cementu s prídavkom puzolánov majú zvýšenú odolnosť voči pôsobeniu kyselín a síranov v porovnaní s materiálmi vyrobenými len z bežného portlandského cementu^{12,13}. Thomas a kol. vo svojich výskumoch opakovane potvrdil, že využitie týchto uvedených puzolánových materiálov je mimoriadne výhodné pre zvýšenie trvanlivosti betónu^{14,15}. Sasanipour a kol.¹⁶ vo svojej štúdii dospel k záveru, že puzolánové materiály na báze odpadov zohrávajú dôležitú úlohu v rámci zlepšenia trvanlivosti, pretože znižujú nasiakavosť a výrazne zvyšujú elektrický odpor a odolnosť proti prenikaniu chloridových iónov. Shahmansouri a kol.¹⁷ skúmal geopolymérny betón obsahujúci mikrosiliku a prírodný zeolit, pričom zistili negatívny vplyv prísad na spracovateľnosť, ale priaznivý vplyv na pevnosť v tlaku (mikrosilika) a dlhodobú pevnosť v tlaku (prírodný zeolit). Ahmad a kol.¹⁸ skúmal rôzne pomery náhrady cementu mikrosilikou na pevnosť v tlaku, pričom pri zohľadnení technického a ekonomického hľadiska za optimálny podiel náhrady uvádza 15 %. Výsledky experimentov ukázali, že nahradenie cementu popolčekom s podielom 20 % a vysokopecnou troskou (40 %) výrazne znižuje vznik mikrotrhlín, čo poukazuje na ich potenciál na zvýšenie trvanlivosti betónu pri vystavení vysokým teplotám¹⁹.

Okrem tradičných odpadových materiálov, ktorými sa nahrádza cement sa venuje čoraz väčšia pozornosť aj rôznym typom menej tradičných náhrad alebo takým, ktoré sú často viazané na určitý región, napr. sklenenému recyklátu, popolčekom z bioodpadov, ryžových šupiek a pod.^{20,21}. Je však dôležité zdôrazniť, že využívanie netradičných odpadov v betóne si vyžaduje dôkladné skúmanie ich vlastností a dopadov na celkovú kvalitu betónu. Rovnako je dôležité zabezpečiť, aby tieto materiály neobsahovali škodlivé látky, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť životné prostredie alebo zdravie ľudí.

Cieľom tejto práce bolo skúmať, či by náhrada cementu vybranými, menej tradičnými odpadmi, ako sú bypasový odprašok, vaječné škrupiny a sklenený recyklát, mohla viesť k porovnateľným alebo dokonca lepším vlastnostiam cementových kompozitných materiálov vo väzbe na ich fyzikálno-mechanické a trvanlivostné parametre.

Materiál a metódy

Cementové maltové vzorky s rozmermi 40 × 40 × 160 mm boli pripravené podľa STN EN 206-1²². Jednotlivé receptúry tvorili: 450 g cementu CEM I (referenčná vzorka (REF) bez náhrady cementu) alebo 360 g cementu (vzorky s náhradou cementu) + 90 g náhrady cementu odpadom, 1350 g piesku s frakciou 0/4 mm a 225 ml vody. U všetkých vzoriek bol dodržaný rovnaký vodný súčiniteľ s hodnotou 0,5. Pre cementové kompozitné zmesi boli použité ako náhrada 20 % hmotnosti cementu tieto odpady: vaječné škrupinky (ŠKR), recyklované sklo (SKL), bypasový odprašok (BO) z výroby cementu a vysokopecná troska (VPT), ktorá reprezentovala tradičnú, bežne používanú náhradu cementu. Bypasový odprašok, ktorý pochádzal z procesu výroby cementu a zachytával sa na filtroch v cementárskej peci, sa použil bez akejkoľvek úpravy. Vaječné škrupinky, ktoré vo všeobecnosti môžu predstavovať súčasť komunálneho alebo špecifický priemyselný odpad z výroby potravín boli pre potreby experimentu zozbierané z domácností, očistené, prepláchnuté etanolom, aby sa odstránili stopy po organických zvyškoch, a rozomleté na prášok. Sklenený materiál pochádzal z bežne používaných sklenených fliaš, ktoré boli očistené, rozdrvené a následne rozomleté na prášok. Pre porovnanie sa skúmala sa aj vysokopecná troska ako priemyselný odpad z výroby železa, ktorá sa dlhodobo používa v cementových kompozitoch a predstavuje typickú náhradu cementu. Použité náhrady sa líšili svojim chemickým zložením. Obsah CaO v jednotlivých náhradách predstavoval približne 16 %, 13 %, 58 % a 9 % pre vysokopecnú trosku, bypasový odprašok, vaječné škrupinky a sklo. Najvyššie zastúpenie SiO₂ bolo v sklenenom recykláte (60 %), potom nasledovala vysokopecná troska s 13 %, bypasový odprašok

s 4 % a vaječné škrupinky s obsahom 0,2 %. Vstupné suroviny mali aj rôznu zrnitosť. Priemerný rozmer zrna sa pohyboval od 5 µm (BO) do 90 µm (ŠKR).

Základné chemické zloženie bolo analyzované pomocou röntgen fluorescenčnej spektroskopie na zariadení Ametec Spectro iQ II (Ametek, Weiterstadt, Nemecko), vzorky mált boli podrvené a pomleté a analyzované v práškovej forme. Množstvo hydratovaných fáz bolo analyzované metódami termickej analýzy na analyzátoře STA 449 F3 Jupiter (Netzsch, Nemecko) pri rýchlosti ohrevu 30 K/min v dusíkovej atmosfére.

Pre posúdenie vhodnosti použitia jednotlivých prímiesí v cementových maltách boli vybrané nasledovné fyzikálno-mechanické parametre: konzistencia čerstvej malty, pevnosť v tlaku a v ťahu pri ohybe, objemová hmotnosť a nasiakavosť, ktoré boli testované v súlade s platnými postupmi podľa príslušných noriem. Skúška čerstvej malty bola prevedená podľa Metódy skúšania mált na murovanie. Časť 3: Stanovenie konzistencie čerstvej malty (pomocou rozlievacieho stolíka)²³, pevnosť v tlaku bola skúšaná podľa STN EN 1015-3²⁴ a pevnosť v ťahu pri ohybe podľa STN EN 206-1²², objemová hmotnosť podľa STN EN 12390-7²⁵ a nasiakavosť podľa STN 73 1316²⁶.

Pre hodnotenie odolnosti voči agresívnym prostrediam bola zvolená skúška priepustnosti iónov (RCPT – Rapid chloride penetration test) podľa ASTM C1202²⁷. Prechod iónov priamo súvisí s priepustnosťou cementových kompozitov, keďže pri materiáli, ktorý je viacej priepustný, dochádza k väčšiemu prenikaniu iónov a naopak, čím je menej priepustný, tým menej iónov sa dostane do štruktúry materiálu, čo predpokladá jeho pomalšiu degradáciu a tým vyššiu trvanlivosť.

Na zdôraznenie významu zníženia uhlíkovej stopy takto pripravených cementových kompozitov sa vyhodnotil potenciál globálneho otepľovania (GWP) pre rôzne zmesi cementových mált na báze odpadu v porovnaní s referenčnou vzorkou. Výpočet uhlíkovej stopy cementových mált sa uskutočnil pomocou metódy ReCiPe²⁸ v softvéri SimaPro²⁹ v hraniciach systému od kolísky po bránu. Potenciál globálneho otepľovania sa analyzoval na základe údajov z databázy Ecoinvent³⁰.

Výsledky a diskuse

Zloženie cementových mált bolo z chemického hľadiska porovnávané na základe výsledkov prvkovej analýzy na základe pomerov dominantných prvkov. Pomer Ca/Si každej vzorky bol väčší ako 0,6 a zároveň menší ako 1,0 čo vyhovuje pomeru pre cementové malty (tabuľka 1). Pomery prvkov Ca/Si boli pre jednotlivé receptúry veľmi blízke, a to indikovalo podobné vstupné podmienky pre vznik CSH fázy pri hydratačných procesoch.

Tabuľka 1: Výsledky prvkovej analýzy

Pomer prvkov Ca/Si	Vzorka				
	REF	VPT	BO	ŠKR	SKL
	0,79	0,62	0,76	0,75	0,74

Skúšky čerstvej malty

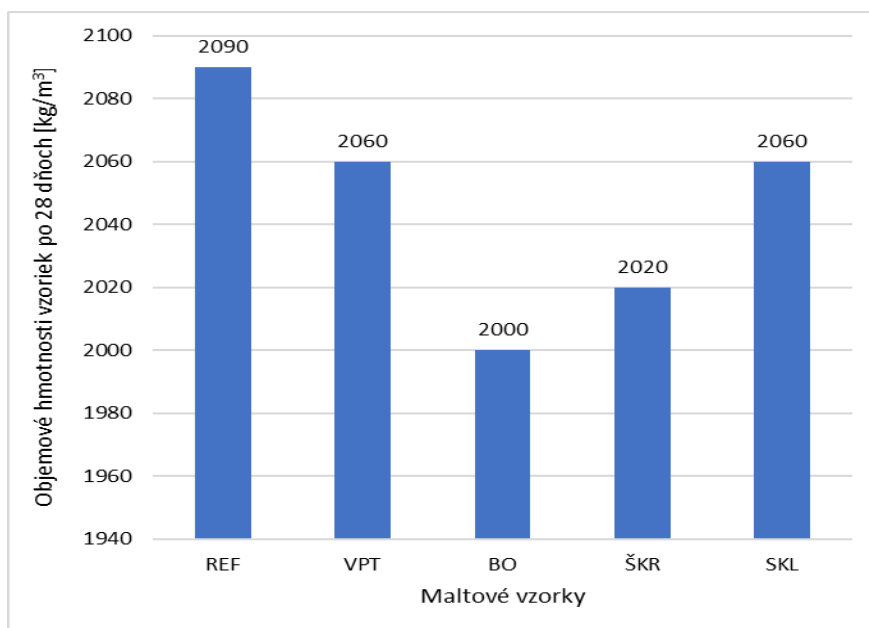
Výsledky skúšok rozliatia čerstvej malty pre jednotlivé zmesi sú prezentované v tabuľke 2. Ako je zrejmé z tabuľky 2, nebol pozorovaný významný rozdiel v konzistenciách jednotlivých zmesí, čo znamená, že nahradenie cementu študovanými prímiesami v danom hmotnostnom pomere nemalo výrazný vplyv na výsledné konzistencie čerstvých zmesí a tým danú spracovateľnosť. Skúšky možno považovať za uspokojivé, keďže sa jednotlivé hodnoty rozliatia nelíšili o viac ako 10 % podľa STN EN 1015-3.

Tabuľka 2: Výsledky skúšky rozliatia

Vzorka	Šírka rozliatia [mm]	Konzistencia
REF	148	plastická
VPT	147	plastická
BO	123	tuhá
ŠKR	145	plastická
SKL	138	tuhá

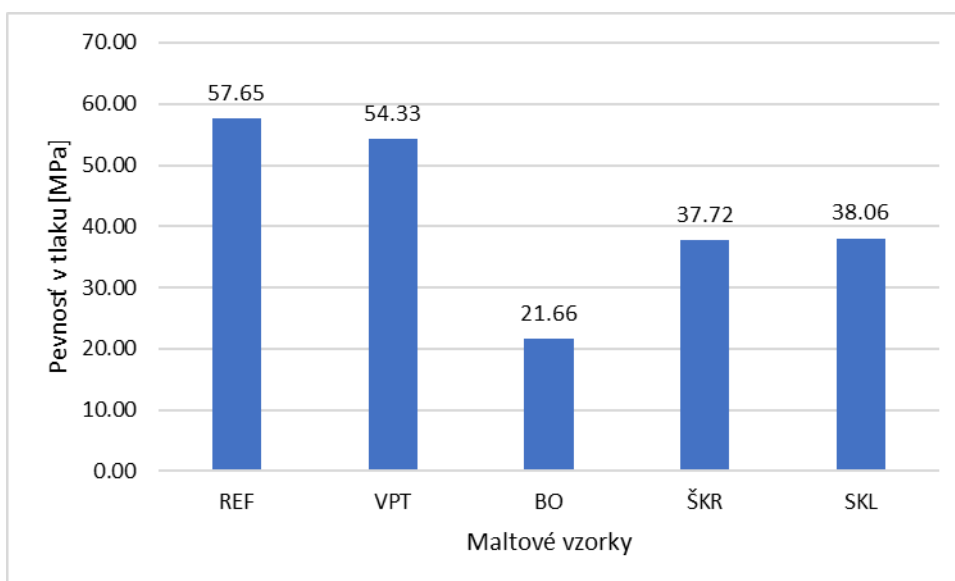
Fyzikálno-mechanické parametre zatvrdnutej malty

Z obrázku 1, ktorý prezentuje porovnanie objemových hmotností zatvrdnutých vzoriek po 28 dňoch vyplýva, že najväčšiu objemovú hmotnosť dosiahla referenčná vzorka bez náhrady REF (2090 kg/m³). Vzorky s prídavkom vysokopečnej trosky (VPT) a skla (SKL) dosiahli zhodné výsledky (2060 kg/m³), ktoré boli nižšie než hodnota pre referenčnú vzorku, čo môže byť zapríčinené vyšším podielom pórov. Vzorky s prídavkom bypassu (BO) a škrupiniek (ŠKR) dosahovali najnižšie hodnoty objemových hmotností (2000 kg/m³ a 2020 kg/m³). Je však nutné podotknúť, že celkový rozdiel v objemových hmotnostiach nebol tak výrazný, keďže rozdiel medzi referenčnou vzorkou (REF) a vzorkou s najnižšou hodnotou (BO) bol len 90 kg/m³.



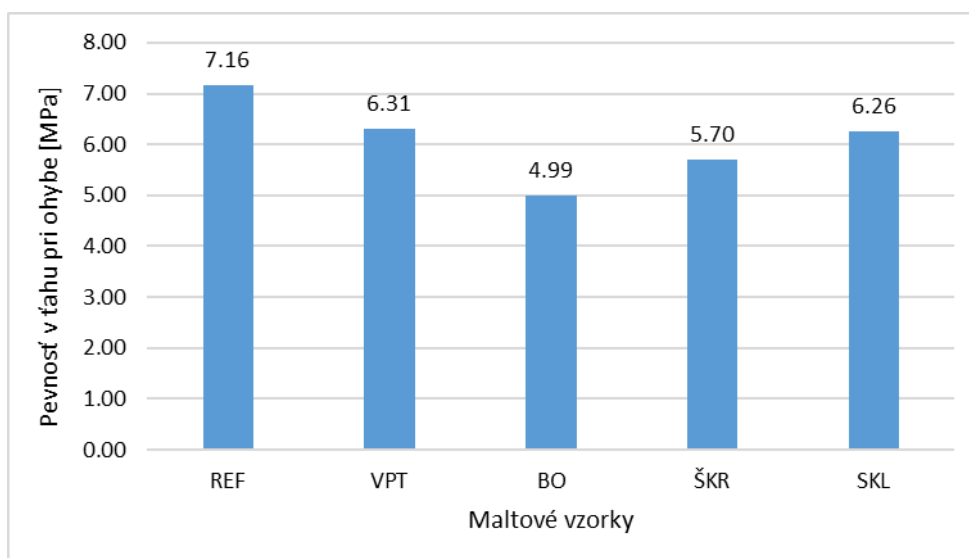
Obrázok 1 Porovnanie objemových hmotností 28 dňových vzoriek

Najvyššie hodnoty pevnosti v tlaku (57,7 MPa) dosiahla referenčná vzorka bez náhrady cementu (REF) a vzorka s prídavkom vysokopečnej trosky VPT (54,3 MPa) - obrázok 2. Vzorky s prídavkom vaječných škrupiniek (ŠKR) a skla (SKL) dosiahli porovnateľné hodnoty pevnosti (37,7 a 38,1 MPa), ktoré boli nižšie než u referenčnej vzorky, avšak je možné očakávať, že v dlhšom časovom horizonte sa v dôsledku puzolánovej aktivity tieto hodnoty priblížia referenčnej vzorke. Vzorka s prídavkom bypassu (BO) dosiahla veľmi nízku pevnosť v tlaku, čo je pravdepodobne spojené s relatívne vysokým podielom tejto prímеси vo vzorke, kdeže podľa ³¹ sa odporúča optimálna náhrada cementu bypasom na úrovni 10 %.



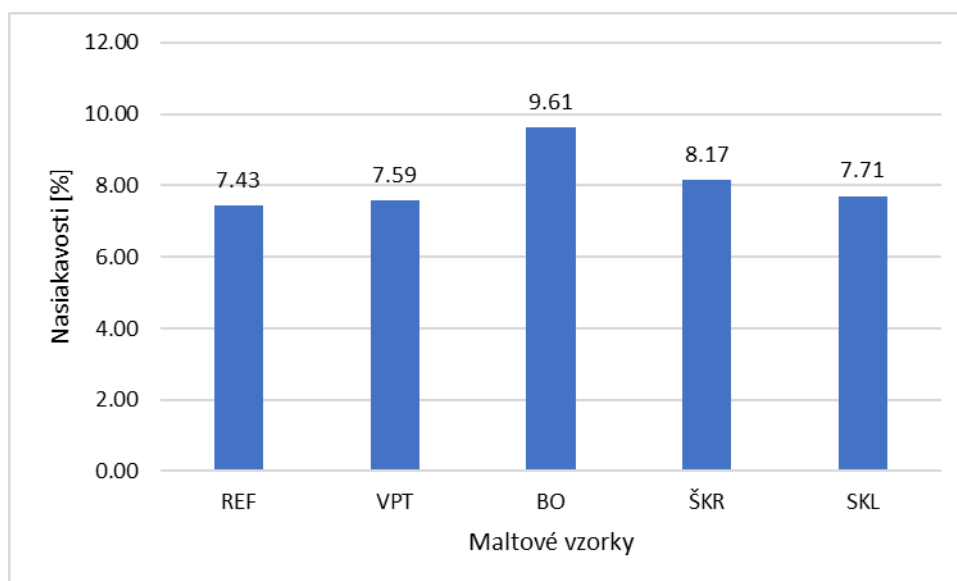
Obrázok 2 Porovnanie pevností v tlaku 28 dňových vzoriek

Analogicky, ako tomu bolo u hodnôt pevností v tlaku, aj pri pevnosti v ťahu pri ohybe boli zistené najvyššie hodnoty pre referenčnú vzorku bez náhrad (REF) na úrovni 7,2 MPa, nasledovala vzorka VPT s pevnosťou 6,3 MPa, čo zodpovedá takmer 88%-nej pevnosti referenčnej vzorky. Takmer rovnaká hodnota pevnosti v ťahu pri ohybe bola nameraná aj pre malty s náhradou cementu sklom (SKL). Najnižšie hodnoty pevnostných parametrov boli zaznamenané pre malty s náhradou bypasovým odpraškom (BO) – obrázok 3.



Obrázok 3 Porovnanie pevností v ťahu pri ohybe 28 dňových vzoriek

Z obrázku 4 vidíme, že najväčšiu nasiakavosť dosiahla vzorka s náhradou cementu bypasom, čo priamo koreluje s hodnotami objemových hmotností a pravdepodobne najvyšším podielom pórov v materiáli. Ostatné vzorky preukázali porovnateľné hodnoty nasiakavostí v intervale 7,4 – 8,2 %, pričom najnižšia hodnota bola zistená u referenčnej vzorky bez náhrad.



Obrázok 4 Porovnanie hodnôt nasiakavosti 28 dňových vzoriek

Pre lepšie porovnanie jednotlivých sledovaných parametrov ako aj posúdenie celkových charakteristík maltových vzoriek boli namerané hodnoty prepočítané vo vzťahu k hodnotám parametrov referenčnej vzorky a sú uvedené v tabuľke 3 vo forme percentuálnych hodnôt.

Tabuľka 3: Percentuálne hodnoty fyzikálno-mechanických parametrov vo vzťahu k referenčnej vzorke

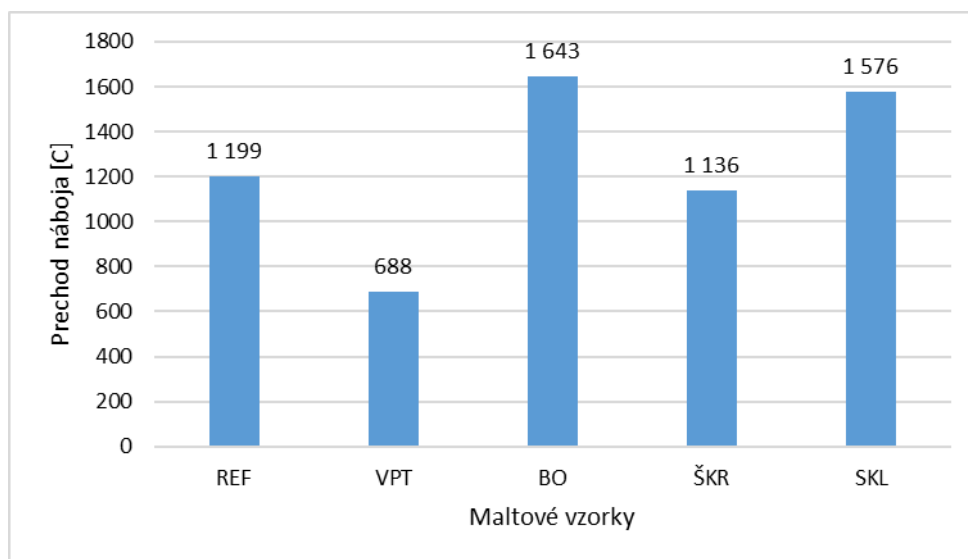
Vzorka	Objemová hmotnosť [%]	Pevnosť v tlaku [%]	Pevnosť v ťahu pri ohybe [%]	Nasiakavosť [%]
REF	100	100	100	100
VPT	98.54	94.25	88.12	102.13
BO	96.09	37.58	69.69	129.35
ŠKR	96.63	65.43	79.60	109.86
SKL	98.91	66.03	87.41	103.67

Z hľadiska týchto vybraných fyzikálno-mechanických parametrov je možné konštatovať, že malty s 20%-nou náhradou cementu vybranými odpadmi nedosiahli parametre referenčnej vzorky bez náhrady. Najviac sa referenčnej vzorke približujú malty s náhradou vysokopecnou troskou, ktorá sa dlhodobo pri výrobe cementových kompozitov už využíva a skleneným recyklátom. Využitiu skleneného recyklátu je potrebné venovať väčšiu pozornosť z hľadiska možnej alkalickéj reakcie v betóne, v našej štúdii sme predpokladali, že použitie veľmi jemných častíc skla nebude prispievať k uvedenému procesu. Najmenej vhodnou náhradou sa pri hodnotení vybraných vlastností mált javí bypasový odprašok, ktorý dosahuje jednoznačne najvyššie hodnoty nasiakavosti a najnižšie hodnoty pevnostných parametrov.

Avšak cieľom práce bolo posúdiť možný pozitívny príspevok jednotlivých náhrad pre zvýšenie odolnosti resp. trvanlivosti kompozitov.

Trvanlivostné parametre mált

Ako už bolo spomenuté, pre posúdenie odolnosti voči agresívnemu pôsobeniu bolo zvolené testovanie prechodu agresívnych iónov cez maltové vzorky. Celkové množstvo preneseného náboja cez jednotlivé vzorky, získané pomocou RCPT testu je porovnané na obrázku 5.



Obrázok 5: Porovnanie priepustnosti 28 dňových vzoriek na základe RCPT testu

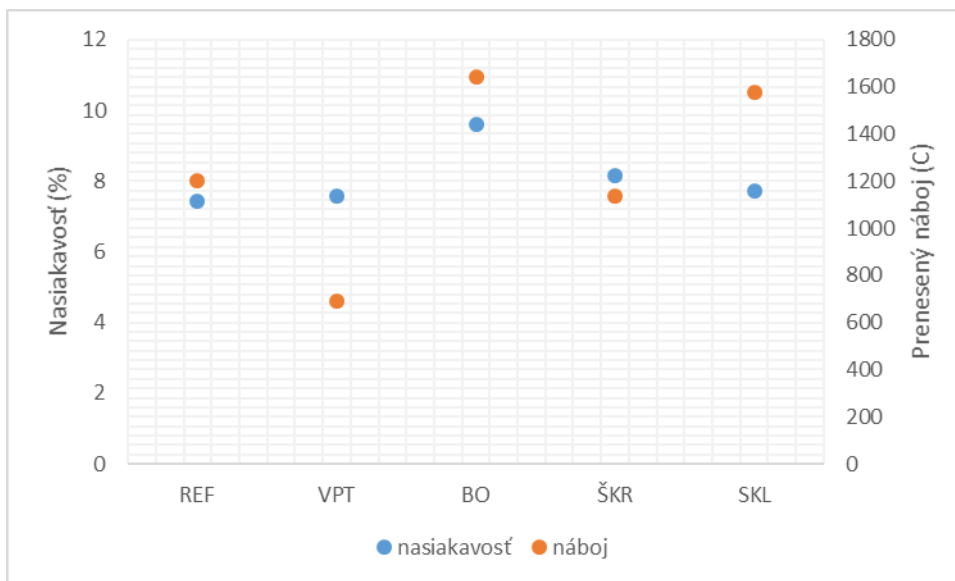
Najnižšie množstvo preneseného náboja, ktoré vyjadruje množstvo agresívnych iónov, ktoré prenikli do štruktúry cementovej matrice bolo zistené pre malty s vysokopecnou troskou (VPT), naopak, najviac priepustné pre agresívne ióny boli vzorky s náhradou cementu bypasovým odpraškom (BO) a sklenným recyklátom (SKL). Referenčná vzorka, na rozdiel od výsledkov fyzikálno-mechanických parametrov dosahovala horšie hodnoty nielen ako VPT (takmer o 43 %) ale aj ako vzorka s náhradou cementu vaječnými škrupinkami ŠKR (o 5,3 %). Tabuľka 4 udáva percentuálne porovnanie výsledkov RCPT meraní vo väzbe na referenčnú vzorku.

Tabuľka 4: Percentuálne porovnanie výsledkov RCPT testu vo vzťahu k referenčnej vzorke

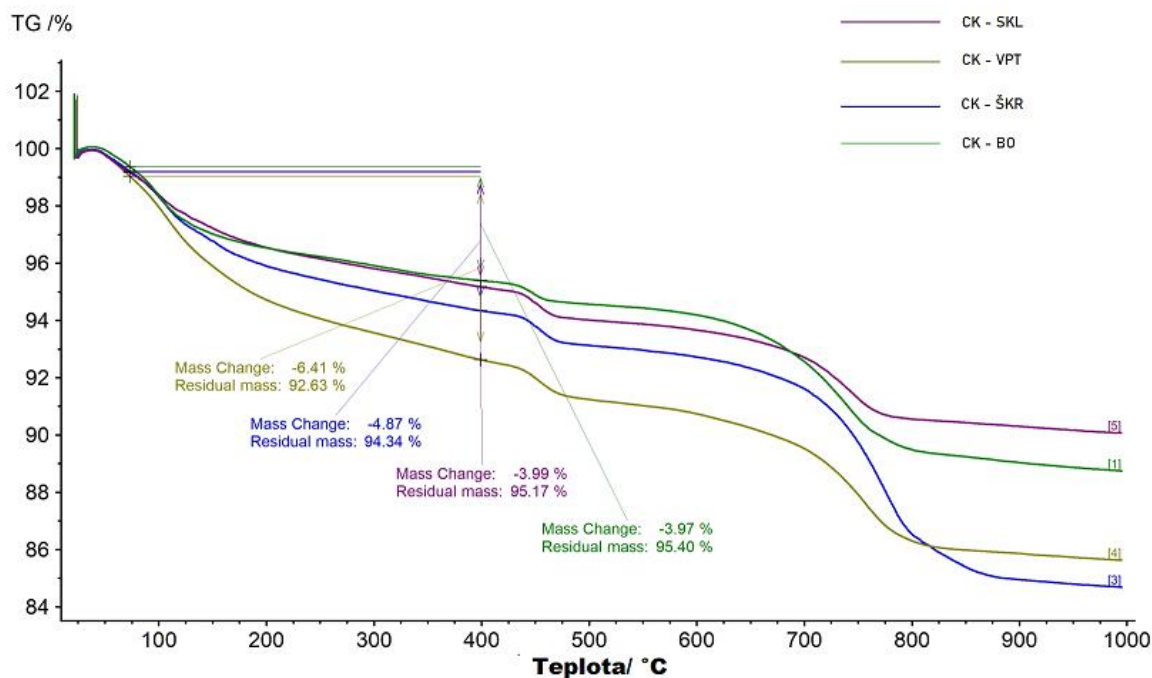
Prenesený náboj [%]	Vzorka				
	REF	VPT	BO	ŠKR	SKL
	100	57.38	137.00	94.72	131.42

Tieto výsledky nie celkom korelujú s hodnotami nasiakavosti, ako je to vidieť na obrázku 6. Badateľný rozdiel medzi výsledkami nasiakavosti a RCPT testu je v prípade vzoriek s vysokopecnou troskou (VPT) a sklenného recyklátu (SKL). Pre vysvetlenie tohto rozporu by bolo vhodné sa bližšie venovať typu a veľkosti pórov ako aj ďalším faktorom, ktoré ovplyvňujú permeabilitu materiálu.

Pre jednotlivé vzorky s náhradou cementu odpadmi boli študované aj hmotnostné úbytky zodpovedajúce rozkladu hydratačných fáz (napr. CSH fázy a etringitu) v teplotnom intervale 70 – 400 °C. Porovnanie termogravimetrických kriviek (TG) cementových mált je na obrázku 7. Z obrázku vypláva, že najvyšší podiel hydratačných fáz bol stanovený u vzorky s náhradou cementu vysokopecnou troskou (VPT), nasledovali malty s vaječnými škrupinkami (ŠKR), a vzorky BO a SKL vykazovali najnižší, takmer rovnaký hmotnostný úbytok v dôsledku rozkladu hydratačných fáz, ktorý bol približne o 40 % nižší ako tomu bolo u VPT.



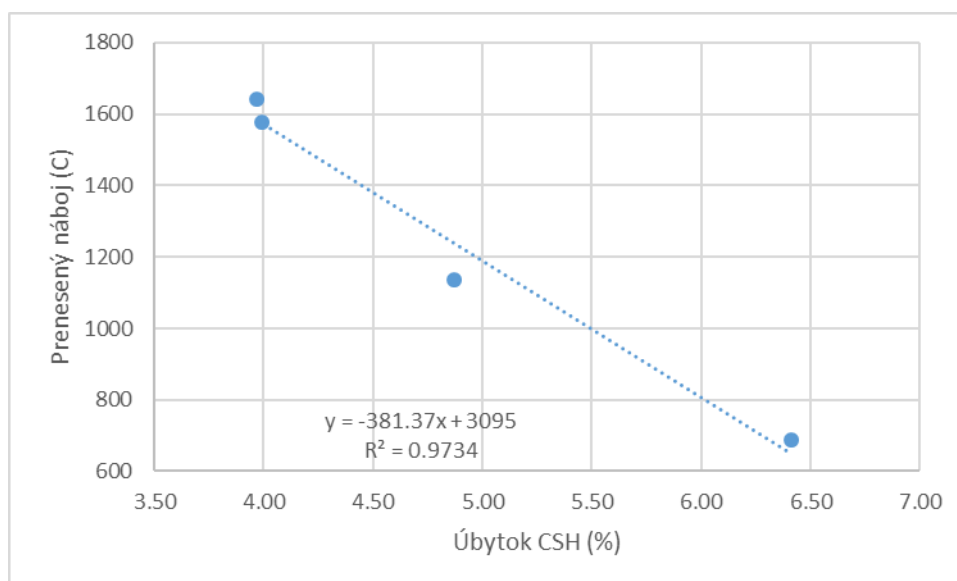
Obrázok 6: Porovnanie hodnôt nasiakavosti a výsledkov RCPT testu



Obrázok 7: TG krivky - hmotnostné úbytky zodpovedajúce rozkladu hydratačných fáz

Obsah hydratačných fáz a množstvo preneseného náboja cez jednotlivé vzorky vykazujú vysokú koreláciu ($R = 0,987$), čím je vyšší obsah hydratačných fáz vo vzorke, tým je menej preneseného náboja cez vzorku, čo indikuje menej agresívnych iónov v matrici (obrázok 8). Potvrzuje sa tak opodstatnenosť predikcie trvanlivosti kompozitov podľa merania množstva prieniku agresívnych iónov do cementovej matrice.

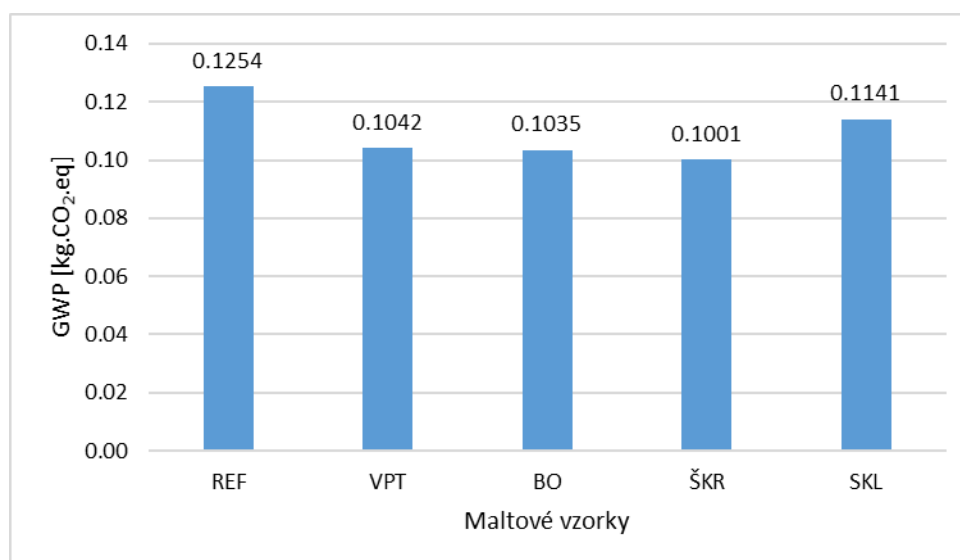
Z hľadiska študovaných trvanlivostných parametrov je možné konštatovať, že malty s 20%-nou náhradou cementu vysokopecnou troskou a vaječnými škrupinkami dosiahli lepšie výsledky ako referenčné kompozity a možno predpokladať ich vyššiu odolnosť v agresívnom prostredí. Čo sa týka vysokopecnej trosky, tieto poznatky sú známe, avšak perspektívnym odpadovým materiálom vo väzbe na zvýšenú odolnosť sa javí aj netradičný menej používaný typ odpadu a to vaječné škrupinky.



Obrázok 8 Korelácia medzi obsahom hydratačných fáz a preneseným nábojom

Environmentálne parametre mált

Pre hodnotenie environmentálnej záťaže študovaných cementových kompozitov bol vybraný jeden indikátor environmentálneho vplyvu, konkrétne ich príspevok ku klimatickej zmene, ktorý sa vyjadruje pomocou hodnôt potenciálu globálneho otepľovania (GWP)³². Pri výpočte GWP jednotlivých receptúr sa uvažovalo o náhradách cementu ako o odpade, a boli zohľadnené iba procesy, ktoré sa s odpadom vykonávajú v priemyselnom zariadení po bod, kedy sa odpad dostáva na trh. Tieto informácie a hodnoty pre jednotlivé typy odpadov a náhrad boli čerpané z databázy Ecoinvent, na základe priemerných európskych údajov. Ako sa predpokladalo, náhrada cementu vyústila do zníženia hodnôt GWP. Obrázok 9 ilustruje porovnanie vypočítaných hodnôt GWP v jednotkách kg CO₂ ekvivalentov, vzťahnutých na individuálnu skúšobnú vzorku cementovej malty v našej štúdii.



Obrázok 9: Porovnanie vypočítaných hodnôt GWP pre jednotlivé vzorky

Pri porovnaní hodnôt GWP sa zistilo, že najnižší príspevok ku klimatickej zmene má vzorka s náhradou cementu vaječnými škrupinkami (ŠKR), ktorý je o 20,1 % nižší ako je GWP referenčnej vzorky (REF). Najmenší rozdiel medzi GWP hodnotami na úrovni 9 % bol zaznamenaný medzi REF a SKL. Príspevky ku klimatickej zmene kompozitov BO a VPT boli porovnateľné a vykazovali hodnoty o 17 % nižšie.

Záver

Na základe výsledkov štúdie je možné konštatovať, že sa potvrdil potenciál využívania tradičných odpadov, ako je vysokopecná troska, ale aj netradičných odpadov, napr. vaječných škrupiniek pre zlepšenie trvanlivosti cementových kompozitov. Hľadanie alternatív náhrad cementu je vysoko aktuálne, keďže napr. existuje veľký tlak na transformáciu výroby železa z vysokopecného spôsobu na výrobu v elektrických oblúkových peciach a široko používaná vysokopecná troska do budúcnosti nemusí byť dostupná.

Je však potrebné podčiarknuť, že pre hodnotenie vhodnosti využívania odpadov pri výrobe stavebných materiálov je dôležité vyvíjať a implementovať komplexné riešenia, ktoré budú brať do úvahy nielen technické ale aj environmentálne, trvanlivostné a ekonomické faktory. Možno povedať, že využívanie tradičných a netradičných odpadov v procese výroby betónu predstavuje sľubný smer pre dosiahnutie udržateľnejšieho stavebného priemyslu. Implementácia týchto náhrad môže prispieť k zníženiu emisií skleníkových plynov, minimalizácii odpadu a udržateľnejšiemu využívaniu prírodných zdrojov.

Pod'akovanie

Výskum sa uskutočnil v rámci riešenia projektov VEGA 1/0230/21 a 2/0108/23.

Literatura

1. Van Damme, H. Cem. Concr. Res. 112, (2018).
2. Song D., Yang J., Chen B., Hayat T., Alsaedi A. Appl. Energy. 164, (2016).
3. Busch P., Kendall A., Murphy C. W., Miller S. A. Resour. Conserv. Recycl. 182, 106278 (2022).
4. Jiménez L. F., Dominguez J. A., Vega-Azamar R. E. Adv. Civ. Eng. (2018).
5. Bennett B., Visintin P., Xie T. J. Build. Eng. 52, 104394 (2022).
6. Habert G., Miller S. A., John V. M., Provis J. L., Favier A., Horvath A., Scrivener K. L. Nat. Rev. Earth Environ. 1, 11 (2020).
7. Thomas M., Barcelo L., Blair B., Cail K., Delagrave A., Kazanis K. Transp. Res. Rec. 2290, 1 (2012).
8. Busch P., Kendall, A., Murphy C. W., Miller S. A. Resour. Conserv. Recycl. 182, 106278 (2022).
9. Knight K. A., Cunningham P. R., Miller S. A. Cem. Concr. Compos., 139, 105049 (2023).
10. Sharma R., Khan R. A. J. Mater. Eng. Struct. "JMES". 3, 3 (2016).
11. Lollini F., Redaelli E., Bertolini L. Constr. Build. Mater. 120 (2016).
12. Bondar D.: Alkali activation of Iranian natural pozzolans for producing geopolymer cement and concrete. Doctoral dissertation: University of Sheffield, Sheffield, UK, 2009.
13. Hossain M. M., Karim M. R., Hossain M. K., Islam M. N., Zain M. F. M. Const. Build. Mat. 93 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.094>.
14. Thomas M., Hooton R. D., Rogers C., Fournier B. Concrete International, 34, 1 (2012).
15. Thomas M. D. Mag. Concrete Res. 48, 177 (1996). <https://doi.org/10.1680/mac.1996.48.177.265>.
16. Sasanipour H., Aslani F., Taherinezhad J. Const. Build. Mat. 227, 116598 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.324>.
17. Shahmansouri A. A., et al. J. Clean. Prod. 279, 123697 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123697>.
18. Ahmad O. A., Amer. J. Appl. Scien. 14 (2017). <https://doi.org/10.3844/ajassp.2017.1031.1038>.
19. Sim S., Rhee J. H., Oh J. E., Kim G. Const. Build. Mat. 407, 133538 (2023).

20. Wang Y., Ramanathan S., Chopperla K. S. T., Ideker J. H., Suraneni P. Cem. Concr. Compos. 133, 104723 (2022).
21. Alengaram, U. J. (2023). Dostupné na <https://www.intechopen.com/online-first/88348>, 9.1.2024
22. STN EN 206: Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda (2021).
23. STN EN 1015-3 722441: Metódy skúšania mált na murovanie. Časť 3: Stanovenie konzistencie čerstvej malty (pomocou rozlievacieho stolíka) (2000).
24. STN 73 1316: Stanovenie vlhkosti, nasiakavosti a vztlínivosti betónu (2023).
25. STN EN 12390-7: (73 1302): Skúšanie zatvrdnutého betónu – Časť 7: Objemová hmotnosť zatvrdnutého betónu (2011).
26. STN EN 12390-3: (73 1302): Skúšanie zatvrdnutého betónu – Časť 3: Pevnosť v tlaku skúšobných telies (2020).
27. ASTM C1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration (1997).
28. Huijbregts M.A.J., Steinmann Z.J.N., Elshout P.M.F. et al. Int. J. Life Cycle Assess. 22 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.
29. Sustainability, PRÉ. "SimaPro database manual: methods library." Pré Sustainability: Amersfoort, The Netherlands (2020).
30. Weidema B. P., Bauer C., Hischer R., Mutel C., Nemecek T., Reinhard J., Vadenbo C. O., Wernet G. St. Gallen: Theecoinvent Centre (2013).
31. Stevulova N., Junak J., Strigac J., Junakova N. Mater. Sci. Eng. 1252 (2013).
32. STN EN 15804 + A2 +AC: (73 0912): Trvalá udržateľnosť výstavby. Environmentálne vyhlásenia o produktoch. Základné pravidlá skupiny stavebných produktov (2023).

Waste utilization and durability of cementitious composites

Adriana ESTOKOVA, Miriama CAMBAL HOLOSOVA, Martin JAS, Alena SICAKOVA

Faculty of Civil Engineering, Technical university of Kosice, Vysokoškolská 4, 04200 Košice, Slovensko

e-mail: adriana.estokova@tuke.sk

Summary

The focus of the research presented is on the use of specific waste materials as supplementary cementitious components in cement-based construction materials. The primary objective is to investigate whether the incorporation of non-traditional wastes with pozzolanic properties can result in positive changes in the quality and technological parameters of cementitious composites. Cement mortars were prepared with 20% cement substitution by the mentioned wastes and subsequently compared with reference composites without any waste substitution. Several technological parameters were considered in the analysis, including compressive and tensile strength, bulk density, water absorption and consistency. Particular emphasis was placed on durability parameters, as evidenced by the measurement of aggressive ion penetration. The experimental results showed that the composites with eggshell exhibited satisfactory values in both engineering and durability parameters studied. Composites containing blast-furnace slag showed improved resistance to the penetration of aggressive ions, as expected.

Keywords: concrete, cement substitution, corrosion, industrial waste