

Využití stavebně demoličního odpadu v lehčených cementových kompozitech

Zdeněk Prošek, Pavel Tesárek

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, ČR

e-mail: zdenek.prosek@fsv.cvut.cz

Jiří Podolský

MORAVOSTAV Brno, a.s. stavební společnost, Maříkova 1, 621 00 Brno, ČR

Souhrn

V současné době jsou hledané možnosti, jak efektivně využít stavební demoliční odpad, aby nekončil na skládkách nebo jako závážka na zpevnění cest. Jednou z takových možností je využití upravené betonového recyklátu frakce 0/4 mm v lehčených cementových kompozitech ve formě bloků pro obvodové pláště budov. Frakce 0/4 mm může nahradit část použitého jemného kameniva až ze 100 % a zároveň je možné nahradit i část použitého cementu. Lehčený blok je kromě cementu a betonového recyklátu tvořený ještě polypropylenovými vlákny z recyklátu a pěnotvornou přísadou. Vlastní tvar prvku je daný formou, do které je blok odlitý, odformování je možné druhý den po výrobě. Příspěvek vznikl za podpory projektu TA ČR Prostředí pro život 3 č. SS03010302 Vývoj efektivních nástrojů pro minimalizaci vzniku stavebního a demoličního odpadu, jeho monitoring a opětovné využití.

Klíčová slova: *Recycling, Lightweight Concrete, Building Envelope.*

Úvod

V průběhu 20. století došlo k desetinásobnému nárůstu spotřeby materiálů, a očekává se, že do roku 2050 se poptávka po materiálech zdvojnásobí oproti počátku 21. století [1]. Evropská unie se snaží zapojit všechny klíčové zainteresované strany s cílem dosáhnout vysoké materiálové efektivity ve stavebnictví a recyklovat většinu stavebního a demoličního odpadu (SDO) do roku 2030. Avšak v cestě k zavedení oběhového hospodářství v tomto odvětví stojí slabá legislativa [2] a také nedostatek vhodných technologií a nedůvěra zákazníků [3].

V tomto kontextu má beton potenciál významně přispět k udržitelnosti stavebnictví. Celosvětově je použití betonu více než dvojnásobné ve srovnání s použitím všech ostatních stavebních materiálů dohromady [4], a výroba betonu je zodpovědná za přibližně 10 % globálních antropogenních emisí CO₂ [5]. Navzdory negativním dopadům na kvalitu betonu [6], vyšším požadavkům na vodu pro míchání [7] a technologickým výzvám se recyklované kamenivo [8] a recyklovaný písek [9] staly běžnou praxí kvůli svým ekonomickým a environmentálním výhodám. Avšak tato snaha nahradit těžené kamenivo nepřispívá k omezení výroby portlandského cementu, což má významný dopad na emise skleníkových plynů [5]. Spotřeba portlandského cementu se za posledních 65 let zvýšila téměř o 3400 % [10], a to i přes snahy částečně nahradit portlandský cement různými alternativními pojivy, jako jsou popílek, různé strusky, mikrosilika nebo metakaolin [11]. Mnohé z těchto alternativních pojiv jsou produkovány průmysly, které mají negativní vliv na životní prostředí a jsou postupně zastaralé (např. uhelné elektrárny, ocelárny spalující koks atd.). Používání alternativních pojiv ve formě vedlejších průmyslových produktů sice zvyšuje udržitelnost, ale nepřispívá k oběhovému hospodářství.

Pro dosažení obou těchto cílů je žádoucí efektivně nahradit portlandský cement recyklovanou pastou, která vzniká při drcení a rozpadu odpadního betonu. Využití těchto recyklovaných betonových jemných částic (mikromleté betonové moučky), které tvoří přibližně 40 % hmotnosti drceného betonového

odpadu, však často naráží na stavební předpisy, které je neakceptují nebo dokonce zakazují kvůli nesprávným představám o jejich vlivu na vlastnosti betonu [12], i když byly nalezeny efektivní způsoby, jak zvýšit reaktivitu betonové moučky a začlenit je do cementových směsí. Jedním z těchto způsobů, i když energeticky náročným, je využití tepla k zvýšení reaktivity [13]. Alternativně lze betonovou moučku rozemlít (mikronizovat), což naruší jejich tetraedrickou strukturu SiO_2 a přemění ji na amorfni formu a odhalí nehydratované částice cementu [14].

Reaktivitu těchto dezintegrovaných materiálů lze nadále zvýšit pomocí alkalických přísad, jako jsou struska nebo popílek [11]. Kromě toho mohou chemické sloučeniny, jako je kyselina tříslová [15], dále zlepšit vazbu na hydratační produkty a zvýšit pevnost a trvanlivost výsledného cementového materiálu.

Jednou z možností je využití betonových jemných částic v lehkém kompozitu jako aktivního plniva. Cílem této studie je navrhnout techniku výroby lehkých zdících bloků obsahujících významné množství mikromleté betonové moučky, aniž by bylo nutné provádět významné technologické změny ve standardních výrobních procesech nebo obětovat vlastnosti konečného výrobku.

Experimentální ověření

V rámci předchozích výzkumů bylo stanoveno základní složení suché směsi, která se skládá ze 40 hm. % portlandského cementu CEM I 42,5R a ze 60 hm. % jemně mleté betonové moučky [16]. Mimo tyto suché složky byla dále použita pěnотvorná přísada Sika LightCrete a superplastifikátor Sika GoldCrete. Jemně mletá betonová moučka vznikla úpravou odpadního materiálu frakce 0/1 mm, který pocházel z recyklovaného kameniva. Celkový proces recyklace probíhá na recyklačním středisku tak, že větší betonové odpadní kusy jsou drceny a rozděleny do frakcí. V rámci drcení vzniká velké množství jemných částic, které nelze dále využít jako kamenivo do nového betonu. Tato odpadní betonová moučka je z větší části tvořena ze staré cementové matrice a tím by negativně ovlivňovala novou betonovou směs (zvýšení nasákavosti a množství záměsové vody). Takto vzniklá odpadní betonová moučka byla mikromletá, aby bylo vytvořeno aktivní plnivo s pojivovými vlastnostmi. V laboratorním měřítku měla tato směs vlastnosti: objemová hmotnost 800 kg/m^3 , pevnost v tlaku 3,5 MPa a součinitel tepelné vodivosti 0,2 J/kgK [16]. V rámci přechodu na poloprovozní ověření došlo k potížím s nastavením vodního součinitele a množství pěnотvorné přísady. Z uvedeného důvodu vzniklo v poloprovozním měřítku 5 různých směsí. Celkové složení jednotlivých směsí je zobrazeno v Tab. 1. Od každé směsi bylo vyrobeno v poloprovozním měřítku $0,5 \text{ m}^3$ směsi, která byla odlita do předem připravených forem. Po 28 dnech bylo ze vzorku vyříznuty testovací tělesa o rozměrech $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$, která byla následně testována a porovnávána ze směsí laboratorně vyrobené.

Směsi byly otestovány pro zjištění základního souboru vlastností. Jedná se o pevnost v tlaku, součinitel tepelné vodivosti a objemová hmotnost. Jedná se o základní parametry potřebné pro materiál určený pro zdící blok. Zkouška pro zjištění pevnosti v tlaku byla řízena posunem. Zatěžovací posun byl nastaven na 3 mm/min a zatěžovací plocha byla určena rozměry vzorku, tedy přibližně $150 \times 150 \text{ mm}$. Zatěžování bylo prováděno do stavu porušení vzorku. Z následující maximální síly potřebné k porušení vzorku byla vypočítána pevnost v tlaku.

Výsledky a diskuze

V rámci poloprovozního ověření bylo vyrobeno několik velkých bloků $250 \times 250 \times 500 \text{ mm}$, byly s nimi prováděny praktické zkoušky, a to nejen vlastní stanovení materiálových vlastností, ale i např. řezání a vrtání, spojování lepidlem (matkou), natahování malty na povrch atd. Soubor materiálových vlastností jednotlivých variant je zobrazen v Tab. 1. V rámci experimentu bylo zjištěno, že množství záměsu negativně ovlivňuje výsledné vlastnosti směsi, především napěněnou strukturu a docházelo ve velkém měřítku k sedání pěny. Z uvedeného důvodu došlo k navýšení množství napěňovací přísady až na 1,22 % ku hmotnosti cementu. Takovéto navýšení v kombinaci se zachováním vodního součinitele mělo za následek zlepšení užitečných vlastností, tedy směs S3 měla nejvíce podobné užité vlastnosti jako laboratorní směs.

Tab. 1: Výsledky měření souboru materiálových charakteristik a složení testovaných směsí

Označení směsi		S1	S2	S3	S4	S5
Hlavní složení	CEM I 42.5 R Radotín [kg/m ³]	308	274,45	266,52	267,2	378,12
	Mikromletý bet. rec. [kg/m ³]	462	410,17	399,78	400,8	567,18
	Napěňovací přísada [kg/m ³]	7,08	6,28	8,16	6,01	5,67
	Plastifikátor [kg/ m ³]	1,89	1,68	1,63	1,63	2,32
	Vlákna [kg/m ³]	12,32	10,94	10,66	10,68	15,13
	Voda [kg/m ³]	188,64	167,45	163,24	163,66	231,6
Doplň. složení	w/b [-]	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
	w/c [-]	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62
	vláken ku celkové hm. [%]	1,60%	1,60%	1,60%	1,60%	1,60%
	plast. ku hm. cementu [%]	0,61%	0,61%	0,61%	0,61%	0,61%
	napěň. ku celk. hm. [%]	0,92%	0,92%	1,22%	0,90%	0,60%
	záměsová voda [kg/m ³]	169,776	150,705	146,916	147,294	208,44
	voda s napěň [kg/m ³]	18,864	16,745	16,324	16,366	23,16
Vlastn.	objem. hmot. - suchý [kg/m ³]	980	870	850	850	1200
	objem. hmot. - mokrý [kg/m ³]	1170	1010	1000	1140	1380
	pevnost v tlaku [MPa]	5,1	4	3,9	4,1	10,1
	tep. vodivost [J/kgK]	0,25	0,2	0,2	0,21	0,39

Závěr

Lehčený zdicí blok byl navržen na bázi cementové matrice s použitím mikromletého plniva a minerálních vedlejších produktů. Struktura byla vyztužena polymerovými vlákny (průměr 12 μm, délka 4 mm). Materiál byl vylehčen pomocí pěnotvorné přísady. Jedná se o výrobek, který splňuje optimální kombinaci mechanických, tepelně-technických a vlhkostních parametrů. Může být tedy použit např. při výstavbě obvodových nosných stěn pozemních staveb. Výhodou navrženého procesu výroby je variabilita, která se opírá o litou směs, z níž lze vyrábět zdicí tvarovku o různých rozměrech a tvarech.

Poděkování

Příspěvek byl podpořený projektem TA ČR Prostředí pro život 3 č. SS03010302 “Vývoj efektivních nástrojů pro minimalizaci vzniku stavebního a demoličního odpadu, jeho monitoring a opětovné využití” a projektu HORIZON 2020+ č. 101058580 “Automated solutions for sustainable and circular construction and demolition waste management”.

Literatura

- [1] Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G., & Worrell, E. (2011). Material efficiency: A white paper. *Resources, conservation and recycling*, 55(3), 362-381.
- [2] Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014). Prioritizing barriers to green manufacturing: environmental, social and economic perspectives. *Procedia Cirp*, 17, 559-564.
- [3] Esa, M. R., Halog, A., & Rigamonti, L. (2017). Developing strategies for managing construction and demolition wastes in Malaysia based on the concept of circular economy. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19, 1144-1154.
- [4] Van Damme, H. (2018). Concrete material science: Past, present, and future innovations. *Cement and concrete research*, 112, 5-24.
- [5] Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., DeFord, H. D., & Townsend, T. G. (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. *Journal of Cleaner Production*, 121, 1-18.
- [6] Grabois, T. M., Cordeiro, G. C., & Toledo Filho, R. D. (2018). The Influence of Recycled Concrete and Clay Brick Particles on the Strength and Porosity of Cement-Based Pastes. In *Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 2nd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete* (pp. 189-194). Springer Netherlands.
- [7] Bravo, M., De Brito, J., Evangelista, L., & Pacheco, J. (2018). Durability and shrinkage of concrete with CDW as recycled aggregates: Benefits from superplasticizer's incorporation and influence of CDW composition. *Construction and Building Materials*, 168, 818-830.
- [8] Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 186, 262-281.
- [9] Ding, T., Xiao, J., Qin, F., & Duan, Z. (2020). Mechanical behavior of 3D printed mortar with recycled sand at early ages. *Construction and Building Materials*, 248, 118654.
- [10] Environment, U. N., Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement and concrete Research*, 114, 2-26.
- [11] Prošek, Z., Nežerka, V., Hlůžek, R., Trejbal, J., Tesárek, P., & Karra'a, G. (2019). Role of lime, fly ash, and slag in cement pastes containing recycled concrete fines. *Construction and Building Materials*, 201, 702-714.
- [12] Evangelista, L. M. F. D. R., & De Brito, J. M. C. L. (2014). Concrete with fine recycled aggregates: a review. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 18(2), 129-172.
- [13] Lotfi, S., & Rem, P. (2018). Recycling of end of life concrete fines (0–4 mm) from waste to valuable resources. In *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet: Proceedings of the 2017 fib Symposium, held in Maastricht, The Netherlands, June 12-14, 2017* (pp. 224-232). Springer International Publishing.
- [14] Prošek, Z., Trejbal, J., Nežerka, V., Goliáš, V., Faltus, M., & Tesárek, P. (2020). Recovery of residual anhydrous clinker in finely ground recycled concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104640.
- [15] Wang, L., Wang, J., Wang, H., Fang, Y., Shen, W., Chen, P., & Xu, Y. (2022). Eco-friendly treatment of recycled concrete fines as supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 322, 126491.
- [16] Nežerka, V., Prošek, Z., Trejbal, J., Pešta, J., Ferriz-Papi, J. A., & Tesárek, P. (2023). Recycling of fines from waste concrete: development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135711.