

POUŽITÍ RECYKLOVANÉHO KAMENIVA DO BETONU

Zdeněk Hlavsa, Robert Coufal, Jan L. Víték

Článek v první části předkládá důvody k recyklaci stavebního a demoličního odpadu a k jeho použití pro výrobu betonu. Upozorňuje na důležité skutečnosti, které se s použitím recyklovaného kameniva do betonu pojí, shrnuje normativní a legislativní požadavky a praktické otázky týkající se výroby a zpracování recyklátu. V druhé části prezentuje zkušenosti s výrobou betonu s recyklovaným kamenivem a shrnuje výsledky zkoušek důležitých charakteristických vlastností. V závěru nastiňuje kroky nutné pro zvýšení produkce recyklovaného kameniva a pro zjednodušení použití recyklátu v betonu z hlediska norem.



1

THE USE OF RECYCLED AGGREGATE IN CONCRETE

The paper presents reasons for recycling construction and demolition waste, and for its use in concrete production. The paper also points out important facts associated with the use of recycled aggregate in concrete, it summarises relevant normative and legislative requirements and practical issues with its use. The second part of the paper outlines the experience with production of recycled aggregate concrete and reviews important properties obtained by tests. The final part proposes steps required for an increase in the production of recycled aggregate and for the simplification of the normative rules for its application in concrete.

Stavebnictví zažívá turbulentní časy. Na jedné straně se zvyšují ceny materiálů a pracovní síly, což je způsobeno především jejich nedostatkem, a na straně druhé stoupají nároky na udržitelnou výstavbu a snížení dopadu lidské činnosti na životní prostředí. Betonárny se potýkají s nedostatkem kameniva do betonu a cementárny musí řešit rychle rostoucí ceny emisních povolenek. Všechny tyto skutečnosti motivují developery a výrobce materiálů hledat cesty k úsporám. Recyklace stavebních a demoličních odpadů (SDO) a jejich využití při výrobě betonu může částečně řešit některé z výše uvedených témat.

Důvody zpracování SDO do betonu

Stavebnictví je největším producentem odpadu v Česku i Evropě. Tuzemský stavební průmysl vyprodukoval v posledních letech průměrně cca 16 mil. t odpadu ročně, což je více než 40 % z celkového objemu odpadu. Teoreticky lze ze stavebního odpadu recyklovat přes 5,5 mil. t, tedy necelých 40 % (obr. 2). Jedná se především o beton, cihly, tašky a keramické výrobky (resp. jejich směsi) a směsné stavební a demoliční odpady, které neobsahují nebezpečné látky [1]. V případě, že by se využila

byť jen polovina odpadu jako recyklované kamenivo do betonu, jednalo by se stále o značnou část z celkové roční spotřeby kameniva pro výrobu betonu. Uspořené přírodní kamenivo by se tak mohlo ponechat pro aplikace, kde je recyklované kamenivo nedostačující.

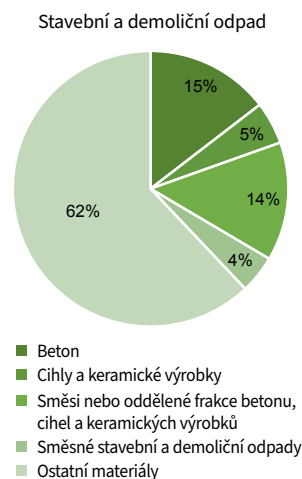
Jednou z hlavních příčin vedoucích ke snaze využít SDO k výrobě betonu jsou rychlým tempem snižující se zásoby těžebních přírodních ložisek stavebního kamene a štěrkopísku. V posledním čísle časopisu Beton na téma Technologie (1/2021) se touto problematikou ve svém článku zevrubně zabýval Ing. Godány [2]. Pro kompletnost si však dovoluji připomenout nejdůležitější body i zde.

Od roku 1991 nebyly v ČR otevřeny žádné nové kamenolomy ani pískovny a výhled do blízké budoucnosti také není příznivý. Více než polovina momentálně aktivních kamenolomů a pískoven pravděpodobně ukončí těžbu v následujících 10 letech. Ke zlepšení situace nepřispívá ani fakt, že otevření těžby nového ložiska, resp. prodloužení nebo rozšíření těžby ložiska stávajícího je velmi komplikovaný proces, který může v některých případech trvat i více než 10 let.

Ačkoliv se produkce přírodního ka-

mene v posledních letech držela na stabilní úrovni, výše popsaná situace, spolu se zvyšující se spotřebou vlivem rozsáhlé výstavby, má za následek časté problémy s dodávkami kamene pro výrobu betonu již teď. Nečekané výpadky dodávek kamene si vynucují zásadní změny, které se v konečném důsledku mohou projevit na kvalitě výsledného betonu a jeho ceně. Nemluvě o dopadu na dopravní infrastrukturu a životní prostředí vlivem delších přepravních vzdáleností z místa zpracování kamene na místo spotřeby.

Dalším motivujícím faktorem pro recyklaci a využití SDO k výrobě betonu



2

může být i výhled růstu poplatků skládkovného. V lednu loňského roku vešel v účinnost zákon č. 541/2020 Sb. (zákon o odpadech) [3], který stanovuje základ poplatku za uložení využitelného odpadu na skládku v následujících devíti letech. Základ poplatku se za toto období má více než zdvojnásobit. V příloze č. 4 vyhlášky MŽP č. 273/2021 Sb. [4] je dále uveden seznam odpadů, které bude od roku 2030 na skládku zakázáno ukládat, neboť je možné je za stávajícího vědeckého a technického pokroku účelně recyklovat. Mezi tyto odpady se řadí i materiály využitelné pro výrobu recyklovaného kameniva do betonu.

Podmínky použití recyklovaného kameniva do betonu

Argumentů pro zpracovávání SDO ve formě recyklovaného kameniva do betonu je mnoho. Nicméně je nutné se podívat i na to, co jeho použití obnáší v praxi.

Před použitím recyklovaného kameniva do betonu získaného zpracováním SDO je nutné splnit podmínky normy ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu [5]. To v praxi znamená provést sadu zkoušek. Kromě stanovení standardních fyzikálních a chemických vlastností je potřeba dle článku 5.8 [5] stanovit poměr složek materiálů v hrubém recyklovaném kamenivu, který musí být deklarován podle příslušných kategorií.

Navíc, jelikož se jedná o odpad, musí být provedeny rozbory dle vyhlášky MŽP č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady [4], které musí vyhovět hodnotám tabulky 5.1 (nejvýše přípustné koncentrace škodlivin v sušíně odpadů) a tabulky 5.3 (limitní hodnoty ekotoxikologických testů).

Až po provedení výše popsaných zkoušek a rozborů s přijatelnými výsledky je možné vydat prohlášení o vlastnostech a recyklované kamenivo do betonu začít používat. Samozřejmě za předpokladu platných průkazných zkoušek betonu s daným recyklovaným kamenivem. Tento na první pohled dlouhý a nákladný proces je potřeba zopakovat při každé změně zdroje recyklovaného kameniva (demolované stavby).

Tab. 1 Podmínky složení a použití hrubého recyklovaného kameniva do betonu podle norem [6] a [7]
Tab. 1 Requirements for the composition and use of coarse recycled aggregate in concrete according to standards [6] and [7]

Norma		ČSN EN 206+A2		ČSN P 73 2404	
typ recyklovaného kameniva		Typ A	Typ B	Typ 1	Typ 2
podíl betonové složky	[%]	min. 90	min. 50	min. 90	min. 70
podíl cihelné složky	[%]	max. 10	max. 30	max. 10	max. 30
podíl recyklátu v betonu	do 50 %	pouze s. v. p. X0	pouze s. v. p. X0 a max. C30/37	pouze s. v. p. X0	pouze s. v. p. X0 a max. C8/10
	do 30 %	do s. v. p. XC4, XF1, XD1, XA1*	nelze použít	do s. v. p. XC4, XF1 a XF3	nelze použít

Pozn.: * nebo pro stupně vlivu prostředí (s. v. p.), pro které byl navržen původní beton

Dále jsou zde samotné normy pro výrobu betonu ČSN EN 206+A2 [6] a ČSN P 73 2404 [7], které rozeznávají různé typy recyklovaného kameniva. Shrnutí podmínek pro složení hrubého recyklovaného kameniva a jeho použití do betonu podle zmíněných norem je uvedeno v tab. 1. Z té je patrné, že normy uznávají použití pouze tzv. betonového recyklátu, kde je podíl betonové složky větší než 50 %. Současně jím lze nahradit maximálně 50 % z celkového obsahu kameniva, a to pouze v betonech nižších pevnostních tříd a skupin stupňů vlivů prostředí (s. v. p.). Přitom betonový recyklát je kvalitní surovina a lze ho využít na mnoho jiných aplikací, kde směsný nebo cihelný recyklát nestačí. Hlavním cílem by mělo být zpracování právě směsného recyklátu, což aktuální normy neumožňují nebo jen v nedostatečné míře.

Nedostatečná normativní opora v použití směsného recyklátu do betonu vede výrobce betonu k napsání vlastních podnikových norem, podle kterých tento materiál mohou vyrábět. Podkladem pro výrobu materiálu je pak stavební technické osvědčení vydané autorizovanou osobou. To však v mnoha případech vyvolává nedůvěru investorů a projektantů v deklarované vlastnosti materiálu, neboť se jeho výroba neopírá o standardní normy pro výrobu betonu.

Dalším důležitým faktorem pro ekonomickou úspěšnost využití SDO do betonu je logistika spojená se zpracováním a zásobováním. Drčení a třídění SDO by mělo probíhat přímo na místě demolice stavby, odkud se i expeduje přímo na jednotlivé betonárny. V případě zpracování SDO mimo stavbu významně narůstá cena za dopravu, a to až do takové výše, kdy může být recyklát dražší než kamenivo přírodní. Tato

1 Detail hrubého cihelného recyklovaného kameniva **2** Podíly jednotlivých materiálů na produkci stavebního a demoličního odpadu v ČR (průměr za poslední tři roky) [1] **3** Demolice a recyklace SDO na stavbě **4** Odkolek v pražských Vysočanech **4** Nakládka hrubého recyklovaného kameniva tamtéž

1 Detail of the coarse brick recycled aggregate **2** Proportions of individual materials in the production of demolition waste for use in construction in the Czech republic (average for the last three years) [1] **3** Demolition and recycling of the demolition waste on the site Odkolek in Vysočany, Prague **4** Loading of the coarse recycled aggregate on the same place

3



4



podmínka vyžaduje, aby byl na stavbě prostor pro recyklační linku a dočasnou skládku recyklátu, což v některých případech může být nereálné. Je zároveň nutná úzká spolupráce všech zúčastněných stran k domlouvání jednotlivých dodávek a příp. k řešení výkyvů kvality recyklátu.

Parametry ekologického betonu

Společnost TBG Metrostav uvedla v létě loňského roku na trh produkt s názvem Ecocrete®. Jedná se o cementový kompozit, kde je přírodní kamenivo částečně nebo zcela nahrazeno kamenivem recyklovaným. Označení „cementový kompozit“ je použito z důvodu výroby materiálu podle podnikové normy výrobce, nikoliv podle normy na beton [6]. Dodavatelem recyklovaného kameniva je společnost Metrostav Divize 3, která v rámci revitalizace areálu pekárny Odkolek v pražských Vysočanech demoluje staré budovy a vzniklý odpad recykluje na kamenivo do betonu. Od uvedení na trh bylo vyrobeno již přes 4 000 m³ tohoto materiálu. Rádi bychom zde představili zkušenosti s jeho výrobou a specifika materiálu.

V první fázi vývoje byly porovnány dva typy recyklovaného kameniva – betonový a cihelný. Ve směsích bylo nahrazeno veškeré hrubé kamenivo, které tvořilo 50 % celkového objemu kameniva v betonu. Cílová pevnostní třída betonu byla C25/30. Základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2. Obecně lze říci, že oba typy recyklátů mají vyšší pórovitost a nasákavost než kamenivo přírodní. To může mít za následek vyšší ztrátu konzistence v čase, avšak tento jev se dá zmírnit správným technologickým postupem výroby betonu a jeho složením. Vyšší pórovitost dále ovlivňuje i další mechanické vlastnosti betonu, především objemovou hmotnost, pevnost a modul pružnosti. Obvyklá vyšší pórovitost, resp. nižší objemová hmotnost cihelného recyklátu se odráží i na výsledcích ztvrdlého betonu.

V dalším vývoji se již pokračovalo pouze s cihelným recyklátem, jelikož, jak bylo řečeno dříve, betonový recy-

Tab. 2 Porovnání vlastností betonů z betonového a cihelného recyklátu

Tab. 2 Comparison of properties of concrete made of recycled concrete and recycled brick based aggregate

cílová pevnostní třída		C25/30	C25/30	specifikace	
typ recyklátu		betonový	cihelný		
množství recyklátu	[%]	50	50		
vlastnosti čerstvého betonu					
sednutí kužele	5 min	[mm]	180	180	ČSN EN 12350-2
	90 min	[mm]	140	150	
objemová hmotnost		[kg/m ³]	2 210	2 130	ČSN EN 12350-6
vlastnosti ztvrdlého betonu					
objemová hmotnost		[kg/m ³]	2 220	2 150	ČSN EN 12390-7
pevnost v tlaku	2 d	[MPa]	22,6	19,1	ČSN EN 12390-3
	7 d	[MPa]	38,3	34,6	
	28 d	[MPa]	46,3	41,8	
	90 d	[MPa]	60,3	52,2	
průsak tlakovou vodou		[mm]	24	19	ČSN EN 12390-8
modul pružnosti		[GPa]	26,5	21,7	ČSN ISO 1920-10

5 Vliv podílu cihelného recyklátu v betonu na modul pružnosti **6** Vliv podílu cihelného recyklátu v betonu na krychlenou pevnost **7** Dlouhodobé sledování krychelné pevnosti betonu v tlaku v čase **8** Plnění bádie betonem s 50% podílem hrubého cihelného recyklovaného kameniva **9** Stěnová konstrukce z betonu Ecocrete® s 50% podílem hrubého cihelného recyklovaného kameniva

5 Influence of the proportion of recycled brick aggregate on the modulus of elasticity of concrete **6** Influence of the proportion of recycled brick aggregate on the cube strength of concrete **7** Long-term monitoring of the cube strength of concrete **8** Filling of a container with concrete with 50 % content of the coarse brick recycled **9** A wall structure made of Ecocrete® with a 50 % content of the coarse brick recycled aggregate

klát je kvalitní surovina sama o sobě a nalézá uplatnění v mnoha jiných aplikacích.

Hlavním limitujícím faktorem použití betonu z cihelného recyklátu je výrazně nižší modul pružnosti. V grafu na obr. 5 lze vidět snížení modulu pružnosti o přibližně 30 % při 50% podílu cihelného recyklátu (pouze hrubá frakce) a o více než 50 % při 100% podílu cihelného recyklátu (hrubá i drobná frakce). Tato skutečnost omezuje materiál k použití na konstrukce, u kterých dochází k převážně ohybovým namáháním, tedy stropní konstrukce, trámy a průvlaky. Rovněž není vhodný pro silně tlačené sloupky a stěnové konstrukce, kde by mohlo dojít k nadměrnému dotvarování.

Podílem recyklátu ve směsi je také ovlivněna pevnost betonu, nicméně zde není pokles tak markantní jako u modulu pružnosti. V grafu na obr. 6 lze vidět pokles o přibližně 15 % při 50% podílu cihelného recyklátu (pouze hrubá frakce) a o necelých 35 % při 100% podílu cihelného recyklátu (hrubá i drobná frakce).

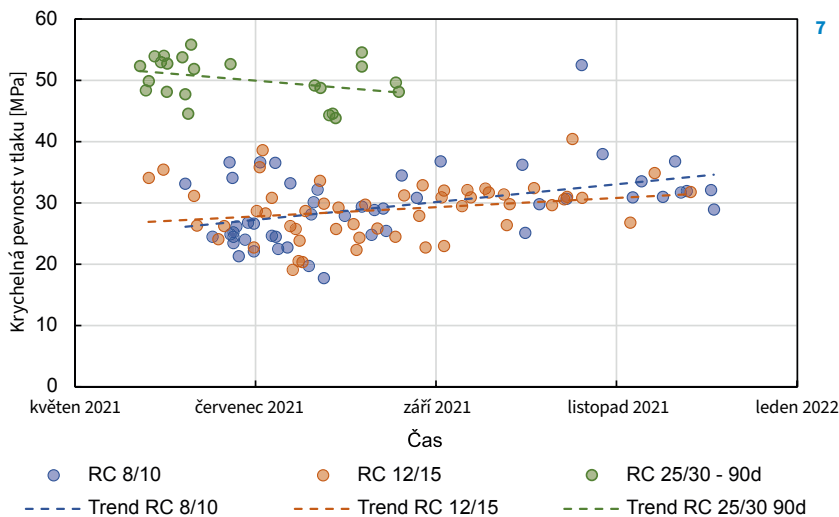
Častým dotazem projektantů je rovněž vliv nižší objemové hmotnosti na akustické vlastnosti betonu vzhledem k jeho aplikacím na příčky obytných budov. Běžně se pro posudek vzduchové neprůzvučnosti počítá s objemovou hmotností betonu 2 300 až 2 400 kg/m³. Při uvažování nižší hodnoty a běžné tloušťce železobetonové stěny 200 mm nemusí být posudek vyhovující. Z toho důvodu byla vzduchová neprůzvučnost ověřena zkouškou, která byla provedena na stěnové konstrukci o tloušťce 200 mm zhotovené z cementového kompozitu Ecocrete® s 50% podílem hrubého recyklovaného kameniva. Jednalo se o mezibytovou stěnu s požadavkem na zvukovou izolaci $R'_w \geq 53$ dB dle ČSN 73 0532 [8]. Konstrukce byla měřena bez omítek a dalších vrstev. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu použitého v konstrukci byla cca 2 150 kg/m³ (uvedená

5



6





hodnota je před vysušením bez započtení výztuže). Stěnová konstrukce normovým požadavkům vyhověla.

Jednou z dalších nevýhod používání recyklátu do betonu může být jeho kvalitativní variabilita v průběhu demolice stavby. Různé konstrukce mají různé pevnostní charakteristiky a to se následně projevuje i na kvalitě recyklátu. Z dlouhodobého sledování pevnosti betonu v tlaku vyrobeného s 50% podílem recyklovaného kameniva (hrubá složka) je vidět, že se tato variabilita projevuje i na pevnosti betonu vyšším rozptylem výsledků (obr. 7). Z toho důvodu je dobré provádět četnější počet kontrolních zkoušek krátkodobých pevností pro odhalení větších výkyvů v kvalitě recyklátu. V počátku výroby cementového kompozitu Ecocrete® byla variabilita kvality recyklátu zohledněna vyšší rezervou ve výsledné pevnosti betonu. Nyní lze na základě získaných zkušeností receptury dále optimalizovat.

Závěr

Recyklované kamenivo ze stavebního demolčního odpadu může být dobrým zdrojem pro částečnou náhradu přírodního kameniva potřebného pro výrobu betonu, neboť řeší hned několik problematických skutečností, které nyní dopadají na stavební průmysl. Snižuje množství skládkovaného odpadu, pomáhá částečně řešit nadcházející nedostatek těženého přírodního kameniva, přispívá k udržitelné výstavbě zapojením odpadu do cirkulární ekonomiky a nabízí zajímavé ekonomické úspory při výstavbě nových staveb.

Pro širší uplatnění recyklovaného kameniva ve výstavbě je však potřeba upravit platné normy pro použití recyklátu v betonu. Benevolentnější přístup k použití recyklátu v betonu by mohl být kompenzován vyššími nároky na kontrolu kvality materiálů – recyklátu i výsledného betonu. Umožnění výroby betonu s recyklovaným kamenivem dle norem pro výrobu betonu by mohlo vést k větší důvěře developerů a projektantů v nabízený materiál a následně i k větší poptávce. Současně by měl začít dialog mezi stavebními firmami, které se dostanou k demolici stavby, a výrobci betonu, kteří mají zájem a kapacitu na zapojení recyklovaného kameniva do své výroby, o možné spolupráci spojené s dodáváním recyklovaného kameniva. Tento dialog je potřeba začít včas, jelikož proces od prvotního záměru výroby recyklátu po provedení všech potřebných zkoušek může trvat i několik měsíců.

Při použití betonu s recyklovaným kamenivem na konkrétní konstrukce je nutné postupovat obezřetně a mít na vědomí jeho slabé stránky – jmenovitě nižší modul pružnosti a objemovou hmotnost. Flexibilita v množství a podílu použitého recyklovaného kameniva v betonu může pomoci k rozšíření konkrétních aplikací. Současně je zde stále prostor pro podrobnější výzkum vlastností betonu s recyklovaným kamenivem a není vyloučeno, že by se tento beton mohl v budoucnu uplatnit i u exponovaných konstrukcí, např. u bílých van.

Literatura:

- [1] *Produkce, využití a odstranění odpadů za období 2020* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2021. Dostupné z: czso.cz
- [2] GODÁNY, J. Současný stav disponibilních zásob u využívaných ložisek stavebního kamene a štěrkopísku v ČR. *Beton TKS*. 2021, 21. roč., č. 121, s. 15–21.
- [3] *Zákon č. 541/2020 Sb. ze dne 1. prosince 2020 o odpadech* [online]. PS ČR. Dostupné z: psp.cz
- [4] *Vyhláška č. 273/2021 Sb. ze dne 12. července 2021 o podrobnostech nakládání s odpady* [online]. PS ČR. Dostupné z: psp.cz
- [5] ČSN EN 12620+A1. *Kamenivo do betonu*. Praha: ČNI, 2008.
- [6] ČSN EN 206+A2. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [7] ČSN P 73 2404. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace*. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [8] ČSN 73 0532. *Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků – Požadavky*. Praha: ČAS, 2020.



8



9

Fotografie: archiv společnosti TBG Metrostav



Ing. Zdeněk Hlavsa
TBG METROSTAV s.r.o.
zdenek.hlavsa@tbg-beton.cz



Ing. Robert Coufal, PhD.
TBG METROSTAV s.r.o.
robert.coufal@tbg-beton.cz



prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.
Metrostav a.s.
jan.vitek@metrostav.cz