

BETON Z RECYKLOVANÉHO KAMENIVA

RECYCLED AGGREGATE CONCRETE

Bohuslav Slánský, Pavel Zelinka, Jan Čermák

Jednou z možností, jak v některých konstrukcích z betonu nahradit přírodní kamenivo, kterého je nedostatek, neboť stávající lomy jsou dočerpávány a otevření nových se nedaří povolovat, může být použití kameniva recyklovaného. Dlouholetá snaha pracovníků ze společnosti ERC-TECH vedla k vývoji unikátní a patentované technologie výroby betonu s využitím recyklovaného kameniva jako 100% náhrady kameniva přírodního, tedy včetně drobné frakce do 4 mm. Následným společným vývojem se společností Skanska byla tato technologie ověřena i v provozních podmínkách výroby betonu na betonárně, byl optimalizován technologický proces pro průmyslovou výrobu a certifikován systém řízení výroby. Dnes je tento výrobek pod značkou Rebetong ve výrobním programu na šesti betonárnách Skanska Transbeton v Čechách a na Moravě. Pro jeho širší využití je třeba odstranit bariéry v technické legislativě. Práce na tom již započala v září 2019 a v současné době je připraven draft, který prochází připomínkovým řízením.

Natural aggregate is in short supply, existing quarries are being exhausted and approvals for new ones are difficult to obtain. One of the ways of replacing natural aggregate is by the use of recycled aggregate. Many years of effort by the staff of ERC-TECH company led to development of a unique and patented technology of production of concrete which is based on 100% replacement of natural aggregate by the recycled one, including sizes smaller than 4mm. The new technology was developed further and verified on real concrete production sites in collaboration with Skanska co. The process was then optimised for production at industrial scale and it received a certification for management of concrete production. The process, known under the trade mark of Rebetong, is now used at six ready-mixed concrete production centres of Skanska Transbeton in the Czech republic. However, to facilitate its adoption in general construction practice, it is still necessary to remove some obstacles within the current technical regulatory framework. Work on this has commenced in September 2019. A draft of the amendments is already available and it is in the process of consultation

Z celkové produkce odpadů v ČR (a obdobně je tomu i v Evropě) tvoří v současné době v průměru cca 45 % inertní stavební suť. V České republice tak vznikají ročně cca 4 miliony tun inertní stavební suti, z čehož je výrazná část, tedy zhruba 85 %, ukládána na deponiích nebo skládkách a pouze 15 % je recyklováno a znovu využito, a to převážně s nízkou přidanou hodnotou jako zásypové, podkladní nebo stabilizační vrstvy. Toto využití mimo jiné výrazně ztěžuje další případnou recyklaci této suti kvůli jejímu znečištění, např. zeminou.

Jedním z aktuálních problémů, který sužuje stavebnictví, je nedostatek zdrojů přírodního kameniva z kamenolomů a šterkoven. Povolování nové těžby je navíc čím dál legislativně náročnější.

Snižující se množství přírodních zdrojů kameniva na jedné straně a naopak rostoucí produkce stavební a demoliční suti na straně druhé byly motivací a driverem k vývoji technologií pro maximální využití recyklovaného kameniva s co nejvyšší přidanou hodnotou a zároveň tak, aby byl výsledný produkt téměř beze zbytku dále recyklovatelný.

Beton vyrobený z recyklovaného kameniva, které v ideálním případě nahra-

dí přírodní kamenivo ze 100 %, tedy včetně drobné frakce do 4 mm, je právě takovým produktem. Použit lze přitom betonovou, cihelnou nebo směsnou stavební suť.

Náhrada přírodního kameniva v betonu kamenivem recyklovaným s sebou přináší výhody v environmentální i ekonomické rovině. V rovině environmentální se jedná o zpracování málo využívaných, a přitom recyklovatelných surovin, které jsou z větší části ukládány na skládkách nebo deponiích. Kapacita skládek tak může být navýšena pro skládkování odpadů, které nelze dále využít. Zároveň jde o úsporu přírodních zdrojů kameniva pro aplikace, kde je přírodní kamenivo nenahraditelné (mosty, předpjaté konstrukce, výškové budovy ad.). Dalším přínosem je snížení zátěže z dopravy, protože zdroje stavební suti pocházející z demolic starých objektů se většinou nacházejí betonárnám blíže než pískovny a lomy přírodního kameniva. V rovině ekonomické se jedná o snížení materiálových nákladů už jen díky náhradě drahého přírodního kameniva v podstatě stavební suti, což může představovat úsporu až v desítkách procent.

Princip řešení

Náhrada části přírodního kameniva, zejména hrubé frakce, v betonu je více méně standardní postup. Náš vývoj a výzkum se však zaměřil na výrobu betonu pouze z recyklovaného kameniva (dále také recyklát či RA z angl. recycled aggregate) včetně drobných frakcí do 4 mm. Po několikaletém laboratorním testování pracovníků společnosti ERC-TECH byla vyvinuta nová technologie, která v roce 2018 získala český i mezinárodní patent.

Na základě tohoto řešení uvedla společnost Skanska na podzim roku 2019 na trh v České republice unikátní výrobek – beton, jež obsahuje ze 100 % pouze recyklované kamenivo, s názvem Rebetong®. Řešení spočívá jednak ve správné přípravě recyklovaného kameniva, a hlavně v technologickém postupu míchání tohoto betonu s využitím speciální suroviny – nanofilleru, jehož částice posilují pevnostní strukturu kameniva a směsi tak, že výsledný beton dosahuje podobných mechanicko-fyzikálních vlastností jako beton z přírodního kameniva v pevnostních třídách až C25/30 včetně vodonepropustnosti a mrazuvzdornosti. A to při stejné, nebo dokonce nižší dávce cementu.



1

S ohledem na charakter recyklovaného kameniva je však potřeba počítat s tím, že objemová hmotnost a modul pružnosti jsou nižší než u konstrukčního betonu pouze s přírodním kamenivem, což je potřeba zohlednit při návrhu konstrukcí. I přesto je oblast použití velmi široká.

Používané příměsi navíc zajišťují trvanlivost takto vyrobených betonových výrobků, umožňují jejich plnou opakovanou recyklaci, a tím eliminují budoucí ekologické zatížení. Dá se tedy směle tvrdit, že tak naplňují nejnáročnější očekávání ohledně cirkulární ekonomiky ve stavebnictví. Technologickým postupem výroby je také dosaženo reaktyvace pojivových složek obsažených v recyklovaném kamenivu, díky čemuž je možné při zachování požadovaných užitných vlastností snížit dávku cementu [1].

Z laboratoře až k průmyslové výrobě na betonárně

Užité parametry betonu, jež obsahuje pouze recyklované kamenivo z betonového, cihelného, ale i směsného recyklátu, jsou výsledkem dlouhodobého vývoje. První laboratorní testy ukázaly překvapivě dobré výsledky. Vysoký potenciál betonu z RA pro komerční využití byl současně potvrzen i na vlastních developerských projektech. Proto byly neprodleně zahájeny provozní testy přímo na pilotní betonárně v Olomouci a výsledky byly opět velmi dobré. Společný vývoj přinesl mimo jiné další optimalizaci výrobních postupů, ověření vyrobitelnosti v podmínkách průmyslové výroby na betonárně a ověření technologických a reologických vlastností betonu z RA při výrobě, dopravě a zpracování.

Na základě těchto dobrých zkušeností společnost Skanska Transbeton přistoupila k certifikaci výroby betonu, jež



2a

obsahuje pouze RA, a od září 2019 vyrábí certifikovaný transportní beton s obchodní značkou Rebetong v pevnostních třídách do C25/30, stupně vlivu prostředí do XC2 a prefabrikované stěnové dílce pod obchodní značkou Reblok. V současné době se zaměřuje na výrobu betonu s RA z cihelné stavební suti (vč. drobné frakce do 4 mm), které je na trhu přebytek a jejíž využití má větší ekonomický i ekologický efekt. Na obr. 1 a 2 je příklad vstupní suroviny z cihelného RA a ukázky z výroby na betonárně v Olomouci.

Výsledky laboratorních zkoušek

V rámci výzkumu a vývoje byly v roce 2019 provedeny laboratorní zkoušky na čerstvém i ztvrdlém betonu. Byly navrženy tři receptury s využitím různých druhů recyklovaného kameniva. V prvním kroku návrhu bylo stanoveno maximální zrnno kameniva a křivky zrnitosti jednotlivých receptur, dále bylo navrženo množství cementu, příměsí, vodní součinitel a množství přísady. Cílem experimentu bylo zhodnotit vliv druhu recyklovaného kameniva (z betonového, cihelného a směsného recyklátu) na vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu stejné receptury při použití technologie výroby společnosti ERC-TECH. V tab. 1 jsou výsledky laboratorních zkoušek [2].

Výsledky testování ukázaly vliv druhu recyklovaného kameniva pouze na některé vlastnosti výsledného betonu. Ze zjištěných poznatků lze konstatovat, že druh recyklátu má vliv na obsah vzduchu v čerstvém betonu, a to tak, že při použití cihelného recyklátu je obsah vzduchu vyšší než u betonového recyklátu, u směsného recyklátu se obsah vzduchu pohybuje mezi hodnotou cihelného a betonového recyklátu. Vyšší obsah vzduchu u cihelného recyklátu je způsoben jeho vyšší pórovitostí, proto-



2b

1 Vstupní surovina – cihelný recyklát frakce 0–22 mm **2** a), b) První výrobky z Rebetongu – prefabrikované stěnové dílce Reblok

1 Input raw material – recycled brick, size 0–22 mm **2** a), b) First products from Rebetong – precast wall elements Reblok

že v pórech dochází k uvíznutí většího množství vzduchu než u recyklátu betonového.

Další vlastností, na kterou má druh recyklovaného kameniva vliv, je objemová hmotnost čerstvého i ztvrdlého betonu. Cihelný recyklát má nižší objemovou hmotnost než recyklát betonový, proto jsou hodnoty objemové hmotnosti betonu vyrobeného z cihelného recyklátu nižší než betonu vyrobeného z recyklátu betonového. Objemová hmotnost betonu ze směsného recyklátu se nachází mezi hodnotami betonu z cihelného a betonového recyklátu, což potvrzuje správnost měření.

Byl také pozorován mírný vliv RA na hloubku průsaku tlakovou vodou a objemové změny, avšak tyto hodnoty nejsou výrazně odlišné od betonu s přírodním kamenivem. Dalším rozdílným parametrem je modul pružnosti, který je dán převážně použitým hrubým kamenivem. U betonu z cihelného recyklátu je modul pružnosti nejnižší, beton ze směsného recyklátu dosahuje opět středních hodnot a modul pružnosti u betonu z betonového recyklátu dosahuje hodnot nejvyšších. K výrazné změně nedošlo u pevnosti v tlaku ani u mrazuvzdornosti, mírné rozdíly lze považovat za chybu laboratorního měření, proto lze tyto výsledky prohlásit za totožné.

V tab. 2 jsou výsledky zkoušek v laboratoři Skanska prováděné začátkem roku 2019.

Provozní zkoušky

Po úspěšných laboratorních zkouškách bylo přistoupeno k provozním testům na míchacím zařízení BHS DKXS o objemu 1,67 m³ pro ověření realizovatelnosti celého technologického postupu přímo v provozu betonárny. V rámci prvních provozních testů byly ověřeny receptury pro pevnostní třídy C20/25 a C25/30 na bázi 100% cihelného recyklátu. Výsledky testů jsou uvedeny v tab. 3. Během provozních testů byla rovněž odzkoušena výroba betonových stěnových bloků (obr. 2).

Během provozních zkoušek byla ověřena zpracovatelnost betonu z recyklovaného kameniva, jeho chování, transportovatelnost a chování při ukládání. Bylo zjištěno, že zpracování čerstvého recyklovaného betonu je podobné betonu s přírodním kamenivem.

Výsledky zkoušek byly porovnány s výsledky jiného výzkumu [9], ve kterém bylo v betonu použito také pouze recyklované kamenivo. V [9] jsou porovnávány vlivy cihelného recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu, byla zde použita jedna relevantní směs RMAC D se 100% obsahem recyklovaného kameniva. Ve směsi RMAC D je použito o 110 kg více CEM I 42,5 R než ve směsi v tab. 1. Nejvýznamnější rozdíl je v použitém RA, v [9] byly použity tři frakce RA: 0–4, 4–8, 8–16 mm, v našem případě byla použita pouze mono frakce 0–22 mm, což šetří ekonomické a ekologické náklady při recyklaci stavební a demoliční suti. Další rozdíl byl pozorovatelný v nasákavosti betonu – u našeho technického řešení vychází o 10 % nižší.

Optimalizace výroby recyklovaného kameniva

Jedním z faktorů úspěchu recyklovaného kameniva získaného ze stavební suti je jeho kvalitní výroba. Trvalo nějaký čas, než byl nastaven optimální výrobní proces, vybrána nejvhodnější zařízení a nastaven každý stroj ve výrobním řetězci. Vývoj betonu obsahujícího ze 100 % pouze RA byl zahájen použitím dvou frakcí RA: 0–8 a 8–16 mm. Po několika krocích optimalizace produkce RA byla vyrobena monofrakce 0–22 mm s podobnou granulometrií. To byl důležitý krok pro efektivní výrobu v betonárnách, protože jim obvykle chybí skladovací prostor pro více frakcí kameniva.

Tab. 1 Výsledky laboratorních testů betonů třídy C25/30 - XC1 společnosti ERC-TECH

Tab. 1 Results of laboratory tests of concrete class C25/30 - XC1 by the ERC-TECH company

		Receptura				
		betonový recyklát	cihelný recyklát	směsný recyklát		
datum výroby		26. 2. 2019	28. 2. 2019	5. 3. 2019		
cement	CEM I 42,5 R Mokrý	[kg]	210			
příměs	popílek	[kg]	100			
kamenivo		[kg]	1 590	1 460	1 480	
obsah vzduchu čerstvého betonu	ČSN EN 12350-7: 2009	[%]	2,1	3,5	2,9	
objemová hmotnost čerstvého betonu	ČSN EN 12350-6: 2009	[kg/m ³]	2 110	1 960	2 080	
konzistence	ČSN EN 12350-2: 2009	[-]	S4			
w/c		[-]	0,5			
objemová hmotnost ZB	ČSN EN 12390-7: 2009	[kg/m ³]	2 120	1 950	2 010	
pevnost v tlaku	7 d	ČSN EN 12390-3: 2009	[MPa]	18,8	19,8	22,5
	14 d			28,4	27,8	31
	28 d			35	35,3	38
	56 d			37,4	37,4	38,8
hloubka průsaku tlakovou vodou	ČSN EN 12390-8: 2009	[mm]	22	16	18	
koefficient mrazuvzdornosti po 100 cyklech	ČSN 73 1322: 1968+Z1:2003	[-]	0,95	0,96	0,9	
objemové změny betonu po 56 dnech	ČSN 73 1320: 1988+Z1:2003	[%]	1,077	1,28	1,29	
statický modul pružnosti	ISO 1920-10: 2010	[Gpa]	18,6	12,9	14,8	

Tab. 2 Výsledky laboratorních testů betonů pevnostní třídy C25/30 společnosti Skanska

Tab. 2 Results of laboratory tests of concrete class C25/30 by the Skanska company

Typ recyklátu	Konzistence	Pevnost v tlaku [MPa]				Objemová hmotnost [kg/m ³]	Koefficient mrazuvzdornosti [-]
		2 d	7 d	28 d	92 d		
betonový	S3	11,5	27,2	41,1	45,0	2 115	-
betonový	S4	10,6	25,9	40,0	42,0	2 132	1,00
cihelný	S4	12,2	29,7	44,2	48,5	1 913	0,98
cihelný	S4	13,5	29,3	44,7	48,8	1 928	-
směsný	S4	14,4	32,7	46,5	51,7	2 043	0,99
směsný	S4	13,3	30,4	44,4	49,8	2 027	-

Důležitý je také zdroj stavební a demoliční suti. Nejlepším možným způsobem je řídit celý proces počínaje selektivní demolicí a konče vytvořením velkého úložiště recyklovaného kameniva s podobnými vlastnostmi. Vyrobene recyklované kamenivo je testováno podle ČSN EN 12620+A1 [5] a dále je potřeba dodržet stabilní křivku zrnitosti. Skladování recyklovaného kameniva je podobné jako u přírodního.

Byl také proveden test citlivosti na vlhkost kameniva v rozmezí 0 % a plnou saturací bez významných rozdílů ve výsledných parametrech.

Certifikace – uvedení na trh

Po úspěšném provozním testování bylo přistoupeno k certifikaci systému řízení výroby (SRV) betonu z recyklátu podle podnikové normy č. TN TRB 03/2019 na betonárně v Olomouci. Po skončení certifikačního procesu bylo v září 2019 vydáno stavebně technické osvědčení (STO) č. 060-049062. Výsledky počátečních zkoušek typu jsou uvedeny v tab. 4.

V roce 2020 následovala certifikace dalších betonáren společnosti Skanska Transbeton pro výrobu betonu z recyklátu v Praze-Uhřetěvesi, Praze-Řeporyjích, ve Veltrusech a v Brně. V současné

Tab. 3 Výsledky provozních zkoušek na betonárně**Tab. 3** Results of production tests at the concrete plant

Pevnostní třída	Typ recyklátu	Konzistence	Počet vzorků	Pevnost v tlaku [MPa]		Objemová hmotnost [kg/m ³]	Hloubka průsaku [mm]
				7 d	28 d		
C20/25	cihelný	S4	20	22	32,4	1 990	19 (6 vzorků)
C25/30	cihelný	S4	6	25,6	36,9	1 990	18 (4 vzorky)

Tab. 4 Vlastnosti testované v rámci certifikace SRV na betonárně v Olomouci**Tab. 4** Characteristics tested within the framework of SRV certification at the concrete plant in Olomouc

Měřené parametry		C25/30 cihelný recyklát				C25/30 betonový recyklát			
		7	14	28	56	7	14	28	56
stáří vzorků	[d]	7	14	28	56	7	14	28	56
pevnost v tlaku	[MPa]	24,1	31,8	37,8	41	19,7	22,8	35,1	37,5
objemová hmotnost	[kg/m ³]	2020				2110			
pevnost v tahu ohybem	[MPa]	4,3				3,9			
pevnost v příčném tahu	[MPa]	2,7				2,4			
mrazuvzdornost (100 c)	[-]	0,92				0,99			
nasákavost	[%]	4,1				3,9			
modul pružnosti v tlaku	[GPa]	17,6				20,9			
hloubka průsaku	[mm]	16				21			
objemové změny	[%]	0,428	0,697	0,977	1,188	0,558	0,854	1,119	1,307

Tab. 5 Výsledky zkoušky zpracovatelnosti v čase**Tab. 5** Results of workability tests and their change with time

Pevnostní třída	Typ recyklátu	Čas [min]	Obsah vzduchu [%]	Sednutí kužele [mm]	Teplota betonu [°C]
C25/30	cihelný	0	4,4	210	23,3
		30	4,2	210	23,0
		60	4,0	160	22,5

době probíhá certifikace betonárny v Ostravě.

V rámci provozního testování bylo na betonu z cihelného recyklátu dále provedeno stanovení konzistence v čase, aby byla ověřena zpracovatelnost a transportovatelnost recyklovaného

3a



betonu s použitím speciálních přísad. Výsledky jsou uvedeny v tab. 5.

Vzhledem k vyšší fluktuaci nasákavosti recyklátu, obzvláště cihelného, je potřeba věnovat pozornost době zpracovatelnosti čerstvého betonu a použít speciální přísady, aby byla zajištěna dob-

3b



rá zpracovatelnost po dobu minimálně 90 min, ideálně 120 min.

Další doplňkové zkoušky

Kromě základních zkoušek jsou prováděny a připravovány další nadstandardní zkoušky betonu z recyklátu, které mají za cíl rozptýlit obavy investorů a projektantů a odstranit tak bariéry pro jeho širší využití. Příkladem je např. zkouška soudržnosti s betonářskou výztuží dle [7]. Pro beton C25/30 z cihelného recyklátu vychází tato zkouška s průměrným výsledkem 5,2 MPa (pro srovnání: Soudržnost betonu s přírodním kamenivem C25/30 s výztuží dosahuje hodnoty 5,4 MPa.). Fotografie ze zkoušky jsou na obr. 3.

Další zkoumanou vlastností byly objemové změny. Byly zjišťovány a porovnávány u betonu z recyklovaného kameniva a u betonu s přírodním kamenivem pevnostní třídy C25/30 podle rakouské normy [8], kde měření probíhá ve žlabu o rozměrech 100 × 60 × 1 000 mm již od čerstvého, ještě nezatvrdlého stavu betonu. Měření probíhala do stáří 90 dnů. Výstupy těchto měření jsou uvedené v grafu na obr. 4a pro beton s recyklovaným kamenivem a na obr. 4b pro beton s přírodním kamenivem.

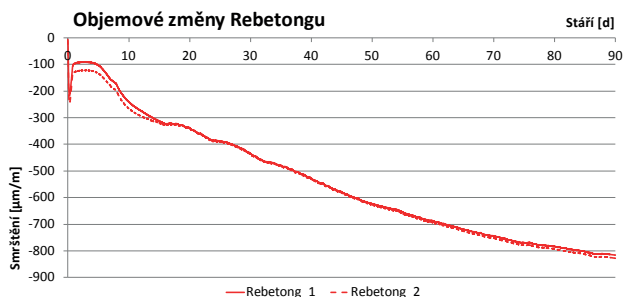
Hodnoty smrštění po 90 dnech byly zjištěny 0,821 ‰ pro beton z recyklátu a 0,701 ‰ pro konstrukční beton s přírodním kamenivem, což nepředstavuje významný rozdíl.

Pilotní projekty

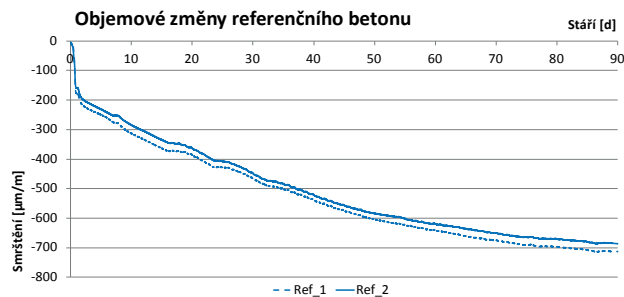
Beton vyrobený pouze z recyklovaného kameniva má užité vlastnosti obdobné jako beton vyrobený z přírodních kameniv, proto je možné jej použít pro běžné stavební betonové a železobetonové konstrukce. Při návrhu vodorovných nosných konstrukcí je potřeba brát v úvahu nižší modul pružnosti.

Velmi rychle se projevil zájem o prefabrikované stěnové dílce, kterých již bylo vyrobeno téměř dva tisíce kusů. Jako prezentace první pilotní výroby byly tyto prefabrikáty použity pro stavbu parkourového hřiště na Cukrkandlu v Praze-Modřanech (obr. 5).

3 a), b) Zkouška soudržnosti s betonářskou výztuží**3 a), b)** Testing of bond between Rebetong and steel reinforcement



4a



4b

První pilotní projekt ve formě transportního betonu pouze z cihelného recyklátu byl realizován v Olomouci na stavbě Nová Envelope, kde byla provedena betonáž podkladních betonů pro výškovou kancelářskou budovu v objemu 350 m³. Dosavadní zkušenosti s dopravou, čerpáním a zpracováním tohoto materiálu jsou dobré, fotografie z realizace jsou na obr. 6.

Dalšími pilotními projekty jsou rezidenční projekt Skanska Čertův vršek v Praze-Libni (obr. 7), kde se Rebetong používá nejen pro podkladní betony, ale také pro železobetonové nosné stěny, a rezidenční čtvrť Emila Kolbena v Praze-Vysočanech (obr. 8). Nyní se připravují další pilotní projekty aplikace monolitického Rebetongu, např. rezidenční čtvrť Modřany.

Technická legislativa

V současné době jsou nejen v rámci ČR, ale i celé EU značné bariéry v technických předpisech, které významně omezují použití recyklovaných kameniv v betonu. Evropská norma pro beton EN 206+A1 doporučuje použití hrubého recyklovaného kameniva do betonu pouze do výše maximálně 50 % pro recyklované kamenivo typu A a B, a to pouze pro stupeň vlivu prostředí X0. Česká národní norma ČSN P 73 2404 [6] toto doporučení převzala jako limit. Pro podporu širšího využití RA do betonu, a tím zlepšení hospodaření s druhotnými surovinami ve stavebnictví je nezbytné změnit tento konzervativní přístup a zaměřit se na výsledné vlastnosti betonu z recyklovaného kameniva bez omezení jeho obsahu.

V ČR tento proces díky výrazné podpoře MŽP, MPO a ČAS započal v září 2019. Jeho cílem je vytvoření předpisu, který by tento přístup umožňoval. U většiny veřejných zakázek je zhotovitel smluvně vázán platnými národními



5

a evropskými normami a je tedy třeba tento proces co nejdříve dotáhnout. Situace se začíná pomalu, ale přece měnit. Veřejní zadavatelé si totiž čím dál víc uvědomují důležitost šetrného stavění a cirkulární ekonomiky a mnohdy ze své vlastní iniciativy přicházejí ve svých projektech s požadavky na stavební výrobky z druhotných, recyklovaných surovin. Úprava stávajících technických předpisů je proto nezbytná.

Závěr

Zjištěné parametry během laboratorních i provozních zkoušek ukazují velký potenciál betonu z výhradně recyklovaného kameniva, jelikož jeho dosud ověřené vlastnosti jsou srovnatelné s konstrukčními betony. Je však třeba mít na paměti, že při návrhu konstrukcí z betonu z RA je nutné zohlednit jeho nižší objemovou hmotnost a modul pružnosti, než má konstrukční beton. Současně je třeba

Literatura:

- [1] SLANSKY, B., ZELINKA, P., CERMAK, J. Unique and Innovative Technology for Sustainable and Efficient Structural Concrete Made of 100 % Recycled Aggregate From CDW. In: *FIB ICCS Prague 2020*.
- [2] CERMAK, J., FIALA, J., POLAK, F. *Comparison of utility properties of concrete with different types of recycled aggregates*. Brno: University of Technology, 2020. ISBN 978-80-214-5894-9.
- [3] SLANSKY, B., ZELINKA, P., CERMAK, J. Beton z recyklovaného kameniva. In: *Sborník z 27. Betonářských dnů*. ČBS, 2020. ISBN 978-80-907611-3-1.
- [4] CSN EN 206+A1. *Concrete: Specification, Performance, Production and Conformity*. The European Standard. Prague, Czech Republic, 2018.
- [5] CSN EN 12620 + A1. *Aggregates for concrete*. The European Standard. Prague, Czech Republic, 2008.
- [6] CSN EN 73 2404. *Concrete: Specification, Performance, Production and Conformity – Additional information*. The Czech Standard. Prague, Czech Republic, 2016.
- [7] CSN 73 1328. *Determination of shear adhesion of steel to concrete*. The Czech Standard. Prague, Czech Republic, 1971.
- [8] ÖNORM B 3329. *Grout – Requirements and test methods*. The Austrian Standard. Austria, 2009.
- [9] PAVLU, T., FORTOVA, K., DIVIS, J., HAJEK, P. The Utilization of Recycled Masonry Aggregate and Recycled EPS for Concrete Blocks for Mortarless Masonry. *Materials*. 2019, Vol. 12, 1923.



6



7a



7b

8a

8b



4 Objemové změny betonu: a) beton s recyklovaným kamenivem, b) beton s přírodním kamenivem **5** První pilotní projekt z Rebetongu ve formě prefabrikovaných stěnových dílců Reblok – parkourové hřiště v Praze-Modřanech **6** První pilotní projekt Rebetongu ve formě transportního betonu – Nová Envelopa v Olomouci **7** a) Reziidenční projekt Čertův vršek v Praze-Libni, b) první železobetonová stěna z Rebetongu **8** a) Bytový komplex Emila Kolbena v Praze-Vysočanech, b) realizace železobetonové stěny

4 Volume changes of concrete: a) concrete with recycled aggregate, b) concrete with natural aggregate **5** First pilot project of Rebetong in the form of the Reblok precast elements – parkour field in Prague – Modřany **6** First pilot project of Rebetong in the form of ready-mixed concrete – Nová Envelopa project in Olomouc **7** a) Residential project Čertův vršek in Prague – Libeň, b) first reinforced concrete wall made of Rebetong **8** a) Residential complex Emil Kolben in Prague – Vysočany, b) construction of a reinforced concrete wall

si uvědomit, že pokud bychom pro RA potenciálně využili veškerou stavební suť, představovalo by to náhradu kamenní maximálně u 20 % veškeré výroby betonu. Tento beton proto nemůže zcela nahradit beton s přírodním kamenivem, ale může nalézt uplatnění v řadě stavebních konstrukcí.

Patentované řešení je plně v souladu s principy cirkulární ekonomiky, kdy lze inertní stavební suť proměnit zpět na stavební materiál s výbornými vlastnostmi, který je navíc plně recyklovatelný a dále zpracovatelný stejným technologickým postupem. Vzhledem k stále se snižující zásobě přírodních zdrojů kamenní je využívání alternativních zdrojů ekonomicky i environmentálně výhodné.

Díky snížení dopravní vzdálenosti recyklovaného kamenní, které se oproti přírodnímu kamenní dováženého většinou z větších vzdáleností nachází spíše v urbanizovaných oblastech, je produkována nižší uhlíková stopa, kterou lze dále snížit optimalizací skladby receptury použitím nižší dávky cementu.



Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D.
Skanska, a. s.
bohuslav.slansky@skanska.cz



Pavel Zelinka
Skanska Transbeton, s. r. o.
pavel.zelinka@skanska.cz



Ing. Jan Čermák, Ph.D.
ERC-TECH, a. s.
cermak@erc-tech.eu