

Možnosti využívání cihelných a betonových recyklátů jako náhrady přírodních kameniv pro výrobu betonů

*prof. Ing. Rudolf Hela, CSc., Ing. Klára Křížová, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Rudolf.Hela@vut.cz*

Souhrn

Příspěvek se zabývá problematikou využívání drcených cihelných a betonových recyklátů frakcí 4-22 mm pro úplnou či částečnou náhradu přírodních kameniv hrubých frakcí nad 4 mm. Částečně popisuje i problémy s využíváním frakcí recyklátů pod 4 mm. Dále omezení pro jejich využívání v souvislosti se stávajícími normami pro výrobu betonů.

Recyklace stavebního a demoličního odpadu

Recyklace ve stavebnictví je jedním ze základních úkolů cirkulární ekonomiky. Stavebnictví je velmi náročná oblast z hlediska čerpání přírodních zdrojů, kdy je tento stav do budoucna neudržitelný. Ve stavebnictví je ovšem stále mnoho oblastí, kde primární nerostné suroviny nahradit nelze, například při výstavbě mostních konstrukcí z vysokopevnostního betonu nebo v pojezdových vrstvách vozovek. Ovšem v mnoha oblastí stavebnictví lze organické suroviny nahradit recyklovanými. Především v oblasti náhrady přírodního kameniva za recyklované. Pro dosažení zvýšení podílu recyklovaných stavebních a demoličních odpadů na trhu je potřeba se zaměřit především na výrobu a produkci kvalitních recyklátů potřebné kvality [1].

Stavební a demoliční odpad (SDO), se dle §5 Zákona o odpadech neřadí do kategorie komunálního odpadu, ale spadá do samostatné skupiny s číslem 17. Tato skupina je rozdělena na další kategorie charakterizující materiály detailněji. Podrobné dělení stavebních odpadů popisuje vyhláška č. 93/2016 Sb., tzv. Katalog odpadů, kde se SDO dělí dle recyklovatelnosti. Mezi recyklovatelné materiály je zahrnut beton, cihly, sklo, zemina, tašky a keramické výrobky. Odpady nerecyklovatelné neboli podmíněně vyloučeny z úpravy jsou materiály, obsahující nebezpečné složky (azbest, rtuť, dehet) [2].

Recyklace stavebního odpadu má velký význam v oblasti trvale udržitelného rozvoje, životního prostředí a je významná i pro zachování neobnovitelných přírodních zdrojů. Beton jako stavební materiál má ovšem obrovskou výhodu v recyklaci, sám o sobě je až z 90 % recyklovatelný. Proto při správném postupu, při výrobě i demolici, můžeme objem vzniklého stavebního materiálu snížit na minimum [3]. Keramické stavební prvky vznikají při demolici nebo rekonstrukci budov, tyto keramické úlomky jsou poměrně čisté až na občasný výskyt malt a jiných materiálů na povrchu. Použité cihly se podrtí v drtiči na cihelnou suť nebo moučku a používají se jako zásypový materiál, moučka se používá na antukové povrchy sportovišť a v případě kvalitního recyklátu, jej můžeme použít do nového cihlářského výrobku [4].



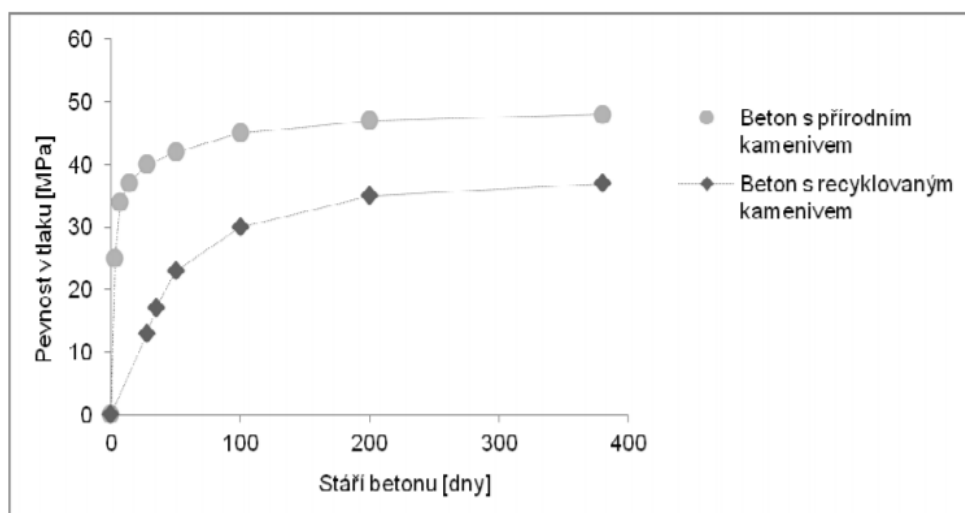
Obr.1 Betonový recyklát (vlevo), cihelný recyklát (vpravo)

Vlastnosti betonového recyklátu

Oproti přírodnímu kamenivu se recyklované kamenivo liší zejména obsahem cementového kamene, který ovlivňuje vlastnosti recyklovaného kameniva. Kvalita a množství cementového kamene je ovlivněna kvalitou původního betonu (pevnostní třída betonu a vodní součinitel), technologií recyklace a frakcí recyklátu. Pro zlepšení kvality recyklátu odstraněním přilnutého cementového kamene existuje řada technologií, mezi patří např. zvýšení počtu drcení a mletí recyklátu, zahřívání recyklátu nebo máčení recyklátu v kyselinách (chlorovodíková, sírová a fosforečná), ovšem tyto postupy výrazně zvyšují cenu a snižují podíl hrubých frakcí nad 4 mm.

Recyklované kamenivo z betonových recyklátů vykazuje oproti přírodnímu kamenivu vyšší nasákavost a pórovitost. Tato skutečnost je způsobena, jak již bylo zmíněno výše, zbytkovým cementovým kamenem ulpívajícím na zrnech původního kameniva. Cementový kámen má oproti přírodnímu kamenivu vyšší porozitu, což umožňuje v pórech zachytit více vody. Nasákavost se u přírodního kameniva pohybuje od 0 do 1 %. U hrubého recyklovaného kameniva se tyto hodnoty dle zdrojů různí, avšak pohybují se v rozmezí od 3 do 9 %. Jelikož je v drobné frakci recyklovaného kameniva obsaženo více cementového kamene než v hrubé frakci, projeví se to také v nasákavosti recyklátu, kde se tyto hodnoty pohybují od cca 6,5 do 13 % [5].

Tvar zrna betonových recyklátů a křivka zrnitosti je závislá na technologii recyklace. Při použití odrazového drtiče lze docílit kubického tvaru zrn s tvarovým indexem do 15 %. Oproti přírodnímu těžnému kamenivu mají zrna betonových recyklátů drsnější povrch, což je způsobeno především cementovým kamenem na povrchu zrna recyklátu. Co se týče křivky zrnitosti u hrubé frakce betonových recyklátů, tak ta se oproti křivkám zrnitosti hrubého přírodního kameniva liší pouze minimálně. Rozdíl je však u drobné frakce betonových recyklátů, u kterých lze oproti přírodním kamenivům pozorovat na křivce zrnitosti vyšší obsah větších zrn. Objemová hmotnost betonových recyklátů je obecně nižší než u přírodních kameniv (cca 2100 až 2300 kg/m³), což je dáno přítomností cementového kamene v recyklátu, který má objemovou hmotnost v rozmezí 1700 až 1900 kg/m³. Na objemovou hmotnost recyklátu má vliv vodní součinitel původního betonu, kdy u betonu s vyšším vodním součinitelem, tedy i vyšší porozitou cementového kamene, jsou recyklační zisky nižší hodnoty objemové hmotnosti kameniva. Při zkoušce odolnosti proti drcení Los Angeles (LA) vykazují betonové recykláty větší ztráty na hmotnosti, než je tomu u přírodního kameniva. Tato skutečnost je způsobena oddělením cementového kamene od původního kameniva. LA koeficient se u betonových recyklátů pohybuje mezi 25 až 40 % [6].



Obr. 2 Porovnání pevnosti betonu s přírodním a recyklovaným kamenivem [6]

Vlastnosti cihelného recyklátu

Kvalita cihel a posléze cihelného recyklátu závisí na mnoha aspektech. Nejdůležitějším je způsob výroby zahrnující postup sušení i proces výpalu cihelného výrobku a dále chemickými a mineralogickými

vlastnostmi surovin. Tyto faktory ovlivňují pevnost v tlaku i tahu, nasákavost, ráz a oděr a další vlastnosti výsledného produktu. Cihly s vysokou kvalitou se vyznačují vysokou pevností v tlaku a nízkou nasákavostí. Porézní povaha cihel znamená, že kamenivo vyrobené jejich recyklací má vyšší hodnotu nasákavosti než kamenivo přírodní. Stupeň pórovitosti cihel je dán druhem hlíny použité pro výrobu cihelného zdiva, dále době a teplotě výpalu. Pokud bude cihelný recyklát použit pro výrobu betonu, je zapotřebí, aby byl recyklát méně poréznější. Vyšší pórovitost recyklátu ovlivňuje transport vody v betonu. Kvalitnější cihly s vyšší pevností jsou méně poréznější a snižuje se u nich hodnota nasákavosti.

Z již proběhlých výzkumů je viditelné, že nasákavost cihelného recyklátu je několikanásobně vyšší než nasákavost přírodního kameniva. Zatímco nasákavost přírodního kameniva se pohybuje v rozmezí 0,5–1,6 %, nasákavost cihelného recyklátu je na hodnotě 9,8–18 %. Při použití cihelného recyklátu do betonu je proto nutné se věnovat vyšší nasákavosti pozornost a upravit postup míchání betonu i množství použité vody. V Tab. 1 jsou uvedeny vybrané vlastnosti cihelných recyklátů v zahraničí [7]. V Tab. 2 je vymezena využitelnost cihelného recyklátu jako náhrady přírodních kameniv.

Tab. 1 Vybrané vlastnosti cihelných recyklátů dle zahraniční legislativy

Legislativa	Druh recyklátu	Minimální objemová hmotnost [kg/m ³]	Maximální nasákavost [%]	Maximální obsah chloridů [%]	Maximální obsah síranů [%]
Německo	Cihelný	1800	20	0,04	0,8
RILEM	Cihelný	1500	20	–	1
Nizozemsko	Cihelný	2000	neurčeno	0,05	1
Belgie	Cihelný	1600	18	0,06	1

Tab. 2 Využitelnost cihelných recyklátů v betonu dle zahraniční legislativy [7]

Legislativa	Druh recyklátu	Maximální náhrada přírodního kameniva recyklovaným		Podmínky použití	Maximální pevnostní třída
		Hrubé	Jemné		
Německo	Cihelný	–	–	Nekonstrukční beton	–
RILEM	Cihelný	100 %	Pouze v případě dodržení požadavku na přírodní kamenivo	Suché i mokré prostředí, bez vody vystavené mrazu a vlivu agresivních půd	C 16/20
Nizozemsko	Cihelný	100 %	Pouze při použití hrubého přírodního kameniva	Neagresivní prostředí	C 20/25
Belgie	Cihelný	100 %	–	Vnitřní použití, suché prostředí	C 16/20

Značení betonu s recyklovaným kamenivem

Dělení betonu z recyklovaného kameniva dle ČSN P 73 2404 je následující [8]:

- **RC:** Beton z recyklovaného kameniva (Concrete from recycled aggregate RC) je cementový kompozit v němž je drobné i hrubé kamenivo zcela nahrazeno recyklovaným kamenivem, jehož dávka překračuje stanovené limity a objemová hmotnost RC je $\geq 1800 \text{ kg/m}^3$.
- **RC-C:** Beton z betonového recyklovaného kameniva (Concrete from concrete recycled aggregate) cementový kompozit obsahuje více než 70 % betonového recyklátu.
- **RC-B:** Beton z cihelného recyklovaného kameniva (concrete from brick recycled aggregate)
- **RC-M:** Beton ze směsného recyklovaného kameniva (concrete from mixed recycled aggregate)
- **LCR:** Lehký beton z recyklovaného kameniva (lightweight concrete from recycled aggregate)

Stávající normové předpisy pro možnost použití recyklátů pro výrobu betonu

Stěžejní normy, které se věnují problematice recyklovaného kameniva a recyklovaného betonu, jsou v České republice ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [9], ČSN P 73 2404: Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace [8] a ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu [10]. Dle ČSN P 73 2404 [8] se recyklované kamenivo z hlediska jeho složení rozděluje na Typ 1, které je vyrobeno pouze drcením z betonu, a Typ 2 původem ze stavební sutě. Tato norma uvádí minimální objemovou hmotnost $2000 \pm 150 \text{ kg/m}^3$ pro oba typy recyklátu a také maximální nasákavost po 10 minutách, která činí 10 % pro Typ 1 a 15 % pro Typ 2. Dále uvádí, že jako kamenivo do betonu lze použít pouze kamenivo Typu 1, výjimku tvoří betony pevnostních tříd C 8/10 a nižší, kde lze použít i kamenivo Typu 2. V normě ČSN EN 206+A2 [9] jsou uvedeny maximální procentuální náhrady hrubého kameniva recyklovaným kamenivem dle stupně vlivu prostředí. Norma rozlišuje druh recyklovaného kameniva dle jeho složení a vlastností na druh A a druh B. Druh A je recyklát získaný jen z betonu, musí mít objemovou hmotnost vyšší než 2100 kg/m^3 . Maximální 50% náhrada přírodních kameniv uvažuje pouze tzv. hrubé kamenivo nad 4 mm, a to pro prostředí X0 pro oba druhy A a B. Pro prostředí XC1 a XC2 je náhrada omezena na 30 % pro druh A a na 20 % pro druh B. Pro prostředí XC3, XC4, XF1, XA1, XD1 lze použít pouze druh A v maximální náhradě 30 %. Recyklované kamenivo druhu A lze však použít i pro všechny ostatní stupně v případě, že je recyklované kamenivo vyrobeno z betonu, který byl pro vliv prostředí navržen, a to opět v maximální míře 30 %.

Dle ČSN EN 12620+A1 [10] je recyklované kamenivo definováno jako kamenivo anorganického původu, které bylo dříve použito v konstrukci. Jedná se o výsledný produkt technologického procesu probíhajícího v recyklačních linkách. Na recyklované kamenivo do betonu se vztahují normy ČSN EN 12620+A1 [10], která definuje vlastnosti a norma ČSN EN 933-11 definující složení recyklátu [11].

Tato norma dále předepisuje požadavky na chemické vlastnosti recyklovaného kameniva. Pokud bude recyklované kamenivo použito v betonu, kde je obsah alkálií omezen, bude třeba zjistit, zdali recyklované kamenivo obsahuje alkálie a případně stanovit jejich obsah. Dále je nutné zjistit, jestli recyklované kamenivo obsahuje reaktivní kamenivo, které může způsobit alkalicko-křemičitou reakci v betonu. Minimální četnosti zkoušek pro recyklované kamenivo jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Minimální četnost zkoušek recyklovaného kameniva

Vlastnost		Článek	Poznámka	Zkušební metoda	Minimální četnost zkoušek
2	Objemová stálost – smršťování při vysychání	5.7.2		ČSN EN 1367-4	Jednou za 5 let
3	Chloridy	6.2	Recyklované kamenivo	ČSN EN 1744-5	

4	Složky obsahující síru	6.3.	Recyklované kamenivo	ČSN EN 1744-1+A1	Dvakrát ročně
5	Organické složky	6.4.1		*ČSN EN 1744-1 +A1	
	Obsah humusu			15.1*	Jednou ročně
	Fulvo kyselina			15.2*	Jednou ročně
	Srovnávací zkoušky pevnosti v průběhu tuhnutí			15.3*	Jednou ročně
	Lehké organické znečišťující složky			14.2*	Dvakrát ročně
8	Vliv na počáteční dobu tuhnutí cementu	6.4.1	Recyklované kamenivo	ČSN EN 1744-5	Dvakrát ročně
9	Složky hrubého recyklovaného kameniva	5.8	Hrubé recyklované kamenivo	ČSN EN 933-11	Jednou měsíčně
10	Objemová hmotnost zrn a nasákavost	5.5	Hrubé recyklované kamenivo	ČSN EN 1097-6	Jednou měsíčně
11	Vodou rozpustné sírany	6.3	Hrubé recyklované kamenivo	ČSN EN 1744-1+A1	Jednou měsíčně

Zkoušením geometrických vlastností recyklovaného kameniva se zabývají normy ČSN EN 933-3 Stanovení tvaru zrn – index plochosti a ČSN EN 933-11 Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva, která se používá pro identifikaci a odhadu jednotlivých podílů materiálu [12]. Klasifikaci složek hrubého recyklovaného kameniva popisuje tab. 4.

Tab. 4 Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva dle ČSN EN 12620+A1 [10]

Složka	Obsah [% z hmotnosti]	Kategorie
Rc	≥ 90	Rc 90
	≥ 80	Rc 80
	≥ 70	Rc 70
	≥ 50	Rc 50
	< 50	Rc deklarovaná
	Bez požadavku	Rc NR
Rc + Ru	≥ 95	Rcu 95
	≥ 90	Rcu 90
	≥ 70	Rcu 70
	≥ 50	Rcu 50
	< 50	Rcu deklarovaná
	Bez požadavku	Rcu NR
Rb	≤ 10	Rb 10
	≤ 30	Rb 30
	≤ 50	Rb 50
	> 50	Rc deklarovaná
	Bez požadavku	Rc NR
Ra	≤ 1	Ra 1 -
	≤ 5	Ra 5 -
	≤ 10	Ra 10 -
X + Rg	≤ 0,5	XRg 0,5 -

Složka	≤ 1	XRg 1 -
	≤ 2	XRg 2 -
	Obsah [cm ³ /kg]	Kategorie
	$\leq 0,2$	FL 0,2 -
FL	≤ 2	FL 2 -
	≤ 5	FL 5 -

Vysvětlivky k tabulce č. 4 dle EN 933-11

Složka	Popis
Rc	Beton, betonové výrobky, malta, betonové zdící prvky
Ru	Nestmelené kamenivo, přírodní kámen, směsi kameniva stmelené hydraulickými pojivy
Rb	Pálené zdící prvky (např. cihly a dlaždice), vápenopískové zdící prvky, provzdušněný neplovoucí beton
Ra	Asfaltové materiály
FL	Plovoucí materiál podle objemu
Rg	Sklo
X	Soudržné (např. jíl a zemina), kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, plasty a guma, sádrová omítka

Pro zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností recyklovaného kameniva se postupuje dle ČSN EN 1097. Odolnost proti otěru se stanoví dle ČSN EN 1097-1 zkouškou Mikro-Deval, stanovení odolnosti proti drcení se věnuje ČSN EN 1097-2 zkouškou Los Angeles. Část 6 této normy věnuje stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti. Zmínka o recyklovaném kamenivu pro použití v betonu je také v normě ČSN EN 13055, která se věnuje pórovitému kamenivu anorganického původu s objemovou hmotností < 2000 kg/m³ nebo sypanou hmotností ≤ 1200 kg/m³.

Norma ČSN EN 206+A2 [9] uvádí maximální procentuální náhrady přírodního hrubého kameniva recyklovaným kamenivem dle vlivu prostředí. Jak již bylo zmíněno výše, tato norma rozděluje recyklované kamenivo na dva druhy – druh A a druh B, které se nepoužívá do betonu třídy pevnosti v tlaku > C 30/37. Bližší specifikace jsou uvedeny v tab. č. 5.

Tab. 5 Maximální procentuální nahrazení hrubého kameniva recyklovaným kamenivem

Druh recyklovaného kameniva	Stupně vlivu prostředí			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	Všechny ostatní stupně*
Druh A (RC90/Rcu95/Rb10/Ra1-/XRg1-/FL2-)	50 %	30 %	30 %	0 %
Druh B (RC50/Rcu70/Rb30-/Ra5-/XRg2-/FL2-)	50 %	20 %	0 %	0 %

*Použití recyklovaného kameniva druhu A ze známého zdroje pro vliv prostředí, na který byl navržen původní beton, s maximální náhradou 30 %.

Tab. 6 Doporučení pro hrubé recyklované kamenivo dle ČSN EN 12620+A1 [10]

Vlastnost	Článek v EN	Druh	Kategorie
Obsah jemných částic	4.6	A + B	Kategorie nebo deklarovaná hodnota
Index plochosti	4.4	A + B	$\leq \text{FL50}$ nebo $\leq \text{SI55}$
Odolnost proti drcení	5.2	A + B	$\leq \text{LA50}$ nebo $\leq \text{SZ32}$
Objemová hmotnost zrn	5.5	A	$\geq 2100 \text{ kg/m}^3$
		B	$\geq 1700 \text{ kg/m}^3$
Nasákavost zrn	5.5	A + B	Hodnota musí být stanovena
Složky	5.8	A	(RC90/Rcu95/Rb10/Ra1-/XRg1-/FL2-)
		B	(RC50/Rcu70/Rb30-/Ra5-/XRg2-/FL2-)
Sírany rozpustné ve vodě	6.3.3	A + B	$\leq \text{SS0,2}$
Obsah ve vodě rozpustných chloridových iontů	6.2	A + B	Hodnota musí být stanovena
Vliv na počátek tuhnutí	6.4.1	A + B	$\leq \text{A40}$

Doplňující informace pro ČSN EN 206+A2 [9] uvádí ČSN P 73 2404 [8] v článku 5.1.3 Kamenivo. Zde jsou definovány podmínky, za kterých vyhoví recyklované kamenivo do betonu. Dle této technické normy musí vlastnosti recyklovaného kameniva vyhovovat podmínkám uvedeným v ČSN EN 12 620+A1 [10]. Při použití recyklovaného kameniva Typu 1 se nesmí zvýšit celkový obsah reaktivních alkálií nad hranici nebezpečnou pro vznik alkalicko-křemičité reakce. Z hlediska expozičních tříd nelze recyklované kamenivo použít pro výrobu betonu odolnému prostředí XF2, XF4, XD1 až XD3. Dále nelze recyklované kamenivo použít pro předpjaté betonové konstrukce a také pro betonové konstrukce s vysokými požadavky na odolnost vůči průsaku tlakové vody. Tato norma stanovuje také požadavky na minimální objemovou hmotnost a nasákavost recyklovaného kameniva a požadavky na maximální obsah rozpustných chloridů, jež jsou omezeny pro oba typy recyklátů na 0,04 % hmotnosti. Při použití recyklovaného kameniva do provzdušněného betonu se zkouška obsahu vzduchu v čerstvém betonu provádí dle ČSN EN 12350-7 a to nejméně jednou denně. Recyklované kamenivo se dále nesmí použít pro betony, které by mohly být ve styku s pitnou vodou a potravinami.

Tab. 7 Přípustný obsah hmot v jednotlivých typech recyklátu dle ČSN P 73 2404 [8]

Druh hmoty	Obsah hmot v hmotnostních procentech	
	Typ 1 drť nebo písek vyrobený drcením pouze z betonu	Typ 2 drť nebo písek vyrobený drcením stavebním sutě
Beton a kamenivo dle ČSN EN 12620+A1	≥ 90	≥ 70
Slinutá keramika, nikoliv porézní střep	≤ 10	≤ 30
Vápencový pískovec		
*Ostatní minerální podíly	≤ 2	≤ 3
Asfalt	≤ 1	≤ 1
**Ostatní příměsi	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$

*Ostatními minerálními podíly se rozumí např. porézní cihelný střep, lehký beton, pórobeton, mezerovitý beton, štuk, malta, porézní struska, škvára a pemza.

**Mezi ostatní příměsi se pak řadí např. sklo, keramika, struska z neželezných kovů, štuková sádra, guma, plasty, kovy, dřevo, rostlinné zbytky a papír.

Tab. 8 Objemová hmotnost a nasákavost recyklátu dle ČSN P 73 2404 [8]

Objemová hmotnost a nasákavost	Recyklované kamenivo	
	Typ 1	Typ 2
Minimální objemová hmotnost [kg/m ³]	2000	
Povolená tolerance objemové hmotnosti [kg/m ³]	± 150	
Maximální nasákavost po 10 minutách [hm. podíl v %]	10	15

Závěr

V současné době je na VUT Brno, FAST ve spolupráci s VÚPS Praha řešen rozborový úkol, zadaný Českou agenturou pro standardizaci, který navazuje na výsledky Rozborového úkolu RU/0001/19 „Analýza problematiky výroby betonu s recyklovaným kamenivem“ a RU/001/22 Experimentální stanovení vlastností betonů s recyklovaným kamenivem s obsahem vyšším, jak stanoví ČSN EN 206+A2“. Cílem úkolu je zpracovat databázi a kolísání vlastností recyklovaných kameniv z demoličních odpadů z různých zdrojů důležitých producentů na území ČR. Na základě rozsáhlých experimentálních zkoušek recyklovaných kameniv vydefinovat meze základních parametrů vlastností vycházející z navržených typů a četností zkoušek v RU/001/22 v souladu s požadavky ČSN EN 12620+A1. Následně experimentálně ověřit rozsahy bezpečné náhrady přírodních kameniv v betonech pevnostních tříd C 12/15 a vyšších a ověřit jejich využívání v různých stupních agresivních prostředí v souladu s požadavky na jejich vlastnosti dané v ČSN EN 206+A2 a ČSN P 73 2404.

Po důkladném vyhodnocení získaných výsledků zpracovat textové podklady pro návrh revize ČSN P 73 2404. Takto by měly být přesně vydefinovány postupy pro stanovení vlastností a požadavků na recyklované kamenivo z demoličních odpadů pro betony C 12/15 a vyšší a stupně agresivity prostředí X0, XC, XD, XF, XA. Jednotlivé etapy se budou zabývat těmito okruhy:

- stanovení vlastností betonu s recyklovaným kamenivem (betonový a cihelný recyklát) s náhradou 50 až 100 % přírodního kameniva pro konstrukční betony s třídou vyšší jak C 12/15,
- v návaznosti na výsledky stanovení a zkušeností z praxe návrh maximálních pevnostních tříd a stupňů vlivu prostředí pro širokou oblast konzistencí,
- stanovení požadavků na systém řízení výroby recyklovaného kameniva a požadavků na posuzování shody,
- stanovení doplňujících požadavků na řízení výroby RC betonu nad rámec požadavků ČSN EN 206+A2,
- návrh na revizi ČSN P 73 2404 mimo jiné o rozšiřující požadavky na vlastnosti recyklovaných kameniv v souladu s ČSN EN 12 620+A1 a způsob zapracování nových požadavků na RC betony a RC kamenivo do betonu.

Cílem je vytvořit podklady pro návrh betonů pevnostních tříd C 12/15 až C 30/37 a pro stupeň vlivu prostředí X0, XC, XD, XF, XA s náhradou 50 až 100 % přírodního kameniva betonovým, resp. cihelným recyklátem.

Literatura

- [1] Recycling 2020 - Cirkulární ekonomika ve stavebnictví, recyklace. doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2020. ISBN 978-80-214-5894-9.
- [2] DUONG, L. Archizoom. Cirkulární ekonomika aneb recyklace ve velkém. [Online] 1. 10 2020. [Citace: 28. 4 2020.] <https://archizoom.cz/cirkularni-ekonomika-aneb-recyklace-ve-velkem/>. ISSN 2694-9539.

- [3] MYNÁŘOVÁ, L., VÍŠEK, V. Inovace v cirkulární ekonomice. Incien. [Online] únor 2019. [Citace: 22. duben 2020.] <https://incien.org/publikace/>.
- [4] PIJÁČKOVÁ, E, E. Možnost využívání betonových recyklátů pro výrobu konstrukčních betonů. Brno, 61 pp, 2021. Bakalářská práce, VUT v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
- [5] GONZÁLEZ-TABOADA, I., GONZÁLEZ-FONTEBOA, B., MARTINÉZ-ABELLA, F., & CARRO-LÓPEZ, D. (2016). Study of recycled concrete aggregate quality and its relationship with recycled concrete compressive strength using database analysis. *Materiales De Construcción*, 66(323), e089.
- [6] CEMEX. Pilot Project in Berlin Showcases Specialty Concrete with Recycled Aggregates. [Online] 7. 12 2015. [Citace: 20. 5 2021.] <https://www.cemex.com/-/cemex-pilot-project-in-berlin-showcases-specialty-concrete-with-recycled-aggregates>.
- [7] GONÇALVES, P. a J.de BRITO. Recycled aggregate concrete (RAC) – comparative analysis of existing specifications. *Magazine of Concrete Research* [online]. 2010, 62(5), 339-346 [cit. 2023-01-09]. ISSN 0024-9831. Dostupné z: doi:10.1680/mac.2008.62.5.339
- [8] ČSN P 73 2404 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace, Český normalizační institut, 2024.
- [9] ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Evropský normalizační institut (CEN), 2021.
- [10] ČSN EN 12620+A1 Kamenivo do betonu. Český normalizační institut, 2008.
- [11] ČSN EN 933-11 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 11: Klasifikace složek hrubého recyklovaného kameniva. Český normalizační institut, 2009.
- [12] PAVLŮ, T. a kol. Katalog výrobků a materiálů s obsahem druhotných surovin pro použití ve stavebnictví. Praha: Česká agentura pro standardizaci, s.p.o. ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR, 2018.

Poděkování

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory v rámci projektu SS07010045 „Využití stavebních a demoličních odpadů pro výrobu cementových kompozitů se solidifikačním účinkem a sníženým dopadem na životní prostředí“.