

# POKUSNÁ BETONÁŽ VRTANÝCH PILOT Z BETONU S RECYKLOVANÝM KAMENIVEM

Zdeněk Hlavsa, Robert Coufal, Jan Kubr, Jan Šperger

Příspěvek prezentuje výsledky pokusné betonáže dvou vrtaných pilot, pro jejichž provedení byla použita betonová směs s 15% a 50% náhradou přírodního kameniva recyklovaným smíšeným hrubým kamenivem. V rámci pokusu byly ověřeny základní parametry čerstvého a ztvrdlého betonu, chování betonové směsi při betonáži a výsledná kvalita pilot. Hotové konstrukce byly za použití dvou metod podrobeny zkouškám integrity pilot a po celé jejich délce byly provedeny zkušební vývrty pro ověření pevnosti betonu v tlaku v různých hloubkách.

## TRIALS OF CONCRETE BORED PILES USING RECYCLED AGGREGATE

This contribution presents results of an experimental concreting of two bored piles, where concrete mixes with a replacement ratio of 15 % and 50 % of natural aggregate by recycled mixed coarse aggregate were used. Basic properties of fresh and hardened concrete were checked, together with the behaviour of the fresh concrete during its placing and the final quality of the piles. Integrity tests were carried out using two different methods on both piles. In addition, cores bored through the entire length of the piles were collected and the compressive strength of the concrete was tested at different depths of the piles.

### Na pokusu spolupracovaly společnosti

Metrostav a.s. Divize 5 – hlavní zhotovitel stavby  
Zakládání staveb, a.s. – subdodavatel hlubinného zakládání  
TBG METROSTAV s.r.o. – dodavatel betonových směsí s recyklovaným kamenivem  
SQZ, s.r.o. – akreditovaná zkušební laboratoř

V posledních letech stále více výrobců betonu uvádí na trh betonové směsi s obsahem recyklovaného kameniva. Zhotovitelé staveb se tyto směsi snaží začleňovat do probíhajících i připravovaných projektů, a to ať již na popud dodavatelů betonu, kteří chtějí nabídnout ekonomicky výhodnější a environmentálně šetrnější alternativu, nebo i z vlastní iniciativy s cílem redukovat náklady anebo jít naproti přísnějším požadavkům na posuzování vlivu stavby na životní prostředí. Zatímco výzkumné práce ověřují vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu ze všech možných úhlů pohledu, je zároveň zapotřebí provádět i pokusné betonáže menších i větších rozměrů, které ověří chování těchto směsí na reálných konstrukcích. Jedním z takových pokusů, jenž proběhl 12. dubna 2022, bylo ověřování chování betonové směsi s hrubým recyklovaným smíšeným kamenivem při použití do konstrukcí vrtaných pilot.

### Cíl a průběh pokusu

V rámci pokusu byly provedeny dvě zkušební vrtané piloty, pro jejichž zabetonování byl použit beton s 15% a 50% náhradou přírodního kameniva hrubým recyklovaným smíšeným kamenivem. Hlavním cílem pokusu by-

lo ověřit integritu pilot po celé jejich délce a odhalit potenciálně závadná místa v průřezu piloty, kterými mohou být kaverny a dutiny, předměty s modulem pružnosti výrazně odlišným od betonu, pracovní spáry ad. Současně se během betonáže ověřovalo, zda nedochází důsledkem hydrostatického tlaku k vytlačování lehčích materiálů (např. dřeva, plastů, plynosilikátů, ale i cihel) k hlavě piloty, příp. zda nedochází ke krvácení betonu a odlučování vody. Riziko znečištění recyklovaného kameniva nežádoucími materiály, které mohou způsobovat výše uvedené problémy, je poměrně vysoké. Důvodem znečištění může být nedostatečná kázeň při demolicí a třídění materiálů na stavbě, ale také během procesu výroby recyklovaného kameniva, resp. při jeho manipulaci během transportu. Integrita pilot byla zkoušena dvěma metodami: pile integrity test (PIT) a cross hole analyzer test (CHA). Po provedení zkoušek integrity pilot byly odebrány vývrty po celé délce pilot, ze kterých se následně vyrobila válcová tělesa o rozměrech 72 × 140 mm pro zkoušky pevnosti betonu v tlaku. Během pokusu byly ověřeny základní vlastnosti čerstvého betonu a byla vyrobena tělesa pro zkoušky ztvrdlého betonu na betonárně i na stavbě.

Pokusná betonáž proběhla na staveništi nového úseku dálnice D6 u obce Krupá. Piloty byly navrženy o průměru 880 mm a délce 8 m. Betonáž pilot proběhla do vrtů zapažených ocelovými pažnicemi systémem betonáže pod vodou přes licí roury. Beton byl specifikován dle [1] a [2] v pevnostní třídě C25/30, stupni vlivu prostředí X0, XC1–4, XD1, XF1 a XA1, s předepsanou konzistencí S4 a dobou zpracovatelnosti minimálně 120 min. Pro zabetonování jedné piloty byl použit beton s 15% obsahem hrubého recyklovaného smíšeného kameniva z celkového obsahu kameniva v betonu. U druhé piloty byla celá hrubá složka přírodního kameniva (50 % z celkového obsahu kameniva) nahrazena hrubým recyklovaným smíšeným kamenivem. Výroba betonu proběhla na betonárně společnosti TBG Metrostav v Radlicích, odkud byl beton převezen na stavbu.

V obou betonových směsích byl použit portlandský smíšený cement CEM II/B-S 32,5 R z cementárny Radotín v množství 375 kg, které udává příloha D normy ČSN EN 206+A2 pro betonáž do vody. Jako příměs byl použit popílek. Recyklované smíšené kamenivo frakce 8–16 mm použité pro náhradu hrubého přírodního kameniva pochází ze stavebního a demoličního odpadu bývalých pekáren Odkolek v pražských Vysočanech, výrobcem recyklovaného kameniva byla společnost Metrostav Divize 3.

Z pravidelných zkoušek prováděných na betonárně se průměrná objemová hmotnost recyklovaného kameniva pohybuje okolo 2 480 kg/m<sup>3</sup>, nasákavost okolo 7 % a obsah jemných částic 1,7 %.

Pro ověření kvality betonu byly na betonárně odebrány vzorky pro zkoušky čerstvého betonu i pro výrobu těles pro zkoušky ztvrdlého betonu. Po namíchání byla změřena konzistence čerstvého betonu zkouškou dle ČSN EN 12350-2 a objemová hmotnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350-6. Následně byla vyrobena tělesa pro zkoušky krychelné pevnosti betonu v tlaku dle ČSN EN 12390-3 a pro stanovení maximálního průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390-8 (krychle o hraně 150 mm), válcové pevnosti betonu v tlaku a statického modulu pružnosti dle ČSN ISO 1920-10 (válcové o průměru 150 a výšce 300 mm). Na stavbě pak byly odebrány vzorky pro zkoušku konzistence betonu a pro výrobu těles na zkoušku krychelné pevnosti betonu v tlaku, průsaku tlakovou vodou a válcové pevnosti betonu v tlaku.

### Výsledky pokusu a vyhodnocení

Výsledky všech zkoušek provedených na betonárně i na stavbě jsou shrnuty v tab. 1. Obě betonové směsi splnily předepsanou specifikaci s dostatečnou rezervou. Směs s vyšším podílem recyklovaného kameniva dosáhla dle očekávání horších vlastností. Krychelná pevnost betonu klesla přibližně o 10 %, objemová hmotnost ztvrdlého betonu o 7 % a statický modul pružnosti o 19 %. Hloubka průsaku tlakovou vodou byla splněna u obou betonových směsí i pro nejpřísnější požadavek 20 mm. Pevnost betonu v tlaku na krychli i na válci se u směsi s vyšším podílem recyklovaného kameniva mezi betonárnou a stavbou značně liší. Tento rozdíl mohl být způsoben odebráním vzorku betonu k výrobě těles ze začátku bubnu automíchávací, kde směs nemusela být homogenně promíchána. Určitý vliv mohl mít i způsob odebrání vzorků a výroby těles přítomnými pracovníky.

Výsledky zkoušky integrity pilot stanovené metodou CHA jsou prezentovány na obr. 1 a 2. Obě piloty jsou homogenní, bez znatelných závad po celé

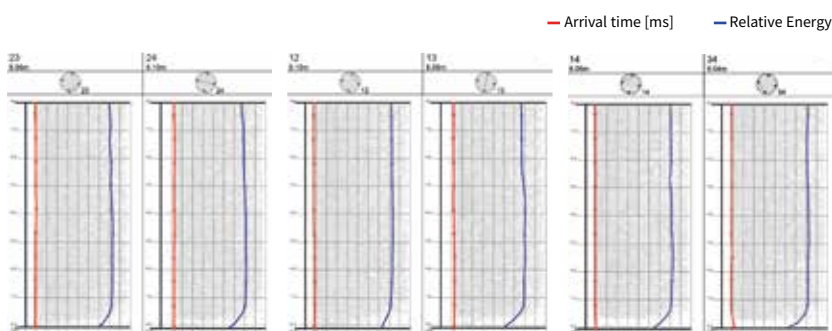
Tab. 1 Vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu

Tab. 1 Properties of fresh and hardened concrete

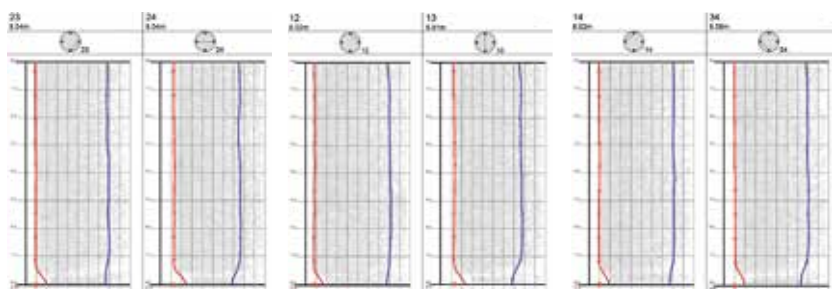
Vlastnosti betonu	Jednotka	Beton s 15% náhradou kameniva		Beton s 50% náhradou kameniva		
pevnostní třída		C25/30				
stupně vlivu prostředí		XC4, XD2, XF1, XA1				
obsah cementu	[kg/m <sup>3</sup> ]	375				
vodní součinitel	[-]	0,4		0,43		
podíl recyklovaného kameniva z celkového obsahu kameniva v směsi	[%]	15		50		
množství recyklovaného kameniva v betonové směsi	[kg/m <sup>3</sup> ]	228		706		
Zkoušky čerstvého i ztvrdlého betonu		Odběr na betonárně	Odběr na stavbě	Odběr na betonárně	Odběr na stavbě	
sednutí kužele	[mm]	210	220	230	210	
objemová hmotnost ČB	[kg/m <sup>3</sup> ]	-	2 320	-	2 160	
pevnost v tlaku	7 d	[MPa]	34,8	34,8	32,8	30,4
			51,2	51,1	43,2	37,5
			48,5	-	44,8	-
			50,0	-	45,1	-
objemová hmotnost ZB	[kg/m <sup>3</sup> ]	2 320	2 310	2 180	2 140	
válcová pevnost v tlaku	[MPa]	44,3	42,4	41,4	31,1	
modul pružnosti – 28 dní	[GPa]	33,2	39,2	27	24,1	
maximální průsak – 28 dní	[mm]	13	8	14	7	

své délce ve všech měřených průřezích. Jediná nevýznamná imperfekce homogenity betonu byla zaznamenána na patě piloty, kde byly zjištěny stopy znečištění betonu zeminou z počvy vrtu. Nicméně tento problém nesouvisí s kvalitou betonu nebo závadou v průběhu betonáže. Obdobně ani stanovení integrity pilot metodou PIT neprokázalo zjevné závady.

Vývrty z pilot zhotovené pro kontrolu pevnosti betonu v tlaku na několika místech po délce pilot jsou zobrazeny na obr. 3. Po celé délce vývrtů nejsou místa se zjevnými známkami segregace kameniva nebo výskytem kaveren či pracovních spár. Výsledky jednotlivých zkoušek pevnosti betonu v tlaku jsou uvedeny v tab. 2. Z výsledků plyne, že pevnost v tlaku po celé délce pilot spl-



1 Výsledky zkoušky integrity piloty z betonové směsi s 15% podílem RCK (měřeno metodou CHA)  
1 Results of an integrity test of a pile with 15 % content of coarse recycled aggregate



2 Výsledky zkoušky integrity piloty z betonové směsi s 50% podílem RCK (měřeno metodou CHA)  
2 Results of an integrity test of a pile with 50 % content of coarse recycled aggregate



**3 a)** Vývrt z piloty z betonu s 15% náhradou recyklovaného kameniva po odebrání na stavbě, **b)** vývrty z obou pilot (s 15% i 50% náhradou kameniva RCA) převezené do laboratoře SQZ na Rohanském ostrově, **c)** vyznačení míst pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku **4** Hrubé recyklované směsné kamenivo **5** Betonáž zkušebních pilot na staveništi dálnice D6 u obce Krupá

**3 a)** Cores of a pile made of concrete with 15 % content of recycled aggregate after their extraction on the construction site, **b)** cores of both piles (with 15 % and 50 % of RCA) in the laboratory of SQZ at Rohanský ostrov, **c)** markings for the locations where cores for compressive strength of concrete along the pile's length were extracted **4** Coarse recycled mixed aggregate **5** Concreting of trial piles at the D6 highway construction site near Krupá

**Tab. 2** Pevnosti betonu v tlaku na vývrtech zkušebních pilot

**Tab. 2** Strength of concrete in compression measured on cores extracted from the piles

Vlastnosti betonu na vývrtnu 72 × 140 mm v hloubce	Beton s 15% náhradou kameniva		Beton s 50% náhradou kameniva	
	pevnost v tlaku [MPa]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	pevnost v tlaku [MPa]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
1 m	32,3	2 270	33,2	2 140
3 m	41,5	2 330	36,5	2 160
5 m	40,6	2 310	34,8	2 200
7 m	40,5	2 350	31,8	2 190



ňuje požadovanou pevností třídu. S výjimkou hlavy piloty z betonu s nižší dávkou recyklovaného kameniva, kde byla v hloubce 1 m zjištěna nižší pevnost betonu v tlaku než ve zbytku zkušebních míst, je pevnost v tlaku po celé délce zkušebních pilot bez dalších výraznějších výkyvů. Nižší pevnosti v tomto místě odpovídá i nižší objemová hmotnost betonu, což mohlo být způsobeno vyšším množstvím vzduchových pórů, které se nashromáždily u hlavy piloty během betonáže a nedokázaly se dostat z čerstvého betonu ven. Obdobně byla zjištěna nižší objemová hmotnost na stejném místě i u piloty z betonu s 50% podílem recyklovaného kameniva.

## Závěr

Příspěvek prezentuje výsledky pokusné betonáže vrtaných pilot za použití betonu s hrubým recyklovaným směsným kamenivem v dávkách 15 a 50 % z celkové dávky kameniva ve směsi. Specifikované vlastnosti be-

tonu prokázaly zkoušky čerstvého i ztvrdlého betonu na betonárně i na stavbě. U obou pilot byla ověřena jejich integrita pomocí dvou zkušebních metod. Zkoušky prokázaly, že ani u jedné z pilot nedošlo k závažným vadám na konstrukci způsobeným kvalitou betonu. Tyto výsledky byly podpořeny i vývrty provedenými po celé délce pilot, na kterých nebyly vidět známky segregace kameniva ani jiná závadná místa. Zkoušky pevnosti betonu v tlaku na vývrtech v hloubkách 1, 3, 5 a 7 m potvrdily specifikovanou pevnost betonu.

Zkušební betonáž pilot podporuje možnost využití betonu s hrubým recyklovaným směsným kamenivem i pro tento druh konstrukcí. Použití betonu s 15% podílem recyklovaného kameniva z celkového obsahu kameniva nepředstavuje v zásadě žádná omezení a lze tvrdit, že výsledné piloty jsou srovnatelné s těmi z běžného betonu s přírodním kamenivem. Při na-

hrazení celé hrubé složky kameniva hrubým recyklovaným směsným kamenivem je nutné brát v potaz pokles modulu pružnosti, který může být nižší až o 30 %. Nicméně při betonáži pilot nedocházelo k segregaci ani krvácení betonu a výsledná konstrukce nevykazovala žádná problematická místa.

Příspěvek byl podpořen z projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS22/032/OHK1/1T/11.



Ing. Zdeněk Hlavsa  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
& TBG METROSTAV s.r.o.  
zdenek.hlavsa@tbg-beton.cz



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



Ing. Jan Kubr  
Metrostav a.s.  
Divize 5  
jan.kubr@metrostav.cz



Ing. Jan Šperger  
Zakládání staveb, a.s.  
sperger@zakladani.cz