

VLASTNOSTI ZTVRDLÉHO BETONU S POUŽITÍM RECYKLOVANÉHO KAMENIVA

Tomáš Trtík, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
tomas.trtik@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Článek popisuje základní mechanické vlastnosti betonu s recyklovaným kamenivem a navazuje na předchozí výzkum za spolupráce s recyklační společností AZS 98 s.r.o. Jemný prach vznikající při recyklaci je pomocí podtlaku odtahován z drtící komory zařízení a zachycen v cyklonovém separátoru. Výzkum se zaměřil na jemný prach, vznikající při drcení betonu, jako možnou náhradu cementu a zároveň došlo k absolutní náhradě hrubé frakce přírodního kameniva za recyklované kamenivo. Výzkum se zabývá návrhem betonové směsi s rozdílným množstvím cementu za použití jemného betonového prachu, recyklovaného hrubého kameniva a vyhodnocuje vliv na tlakovou pevnost.

KLÍČOVÁ SLOVA

Recyklované kamenivo • Recyklovaný beton • Tlaková pevnost
• Prach • Hrubá frakce kameniva

ABSTRACT

The article describes the basic mechanical properties of concrete with recycled aggregates and builds on previous research in cooperation with the recycling company AZS 98 s.r.o. The fine dust generated during recycling is drawn off from the crushing chamber of the device by means of a vacuum and collected in a cyclone separator. The research focused on fine dust generated during the crushing of concrete as a possible replacement for cement, and at the same time there was an absolute replacement of the coarse fraction of natural aggregate with recycled concrete aggregate. The research deals with the design of a concrete mixture with different amounts of cement using fine concrete dust, recycled coarse aggregate and evaluates the effect on compressive strength.

KEYWORDS

Recycled Aggregate • Recycled Concrete • Compressive strength • Fine Dust • Coarse Recycled Aggregates

1. ÚVOD

Stavební a demoliční odpad je jeden z nejvíce objemných a těžkých odpadů, které jsou na světě produkovány. Je tvořen z různých materiálů, kam spadá např. beton, cihla, dřevo, ocel, a asfaltové směsi, tyto materiály mohou být znovu použity pro další stavbu (Fischer 2009). V evropské unii tvoří stavební a demoliční odpad zhruba dvě třetiny veškerého vyprodukovaného odpadu. Evropská rada a parlament rozhodli o vzniku Sedmého akčního programu programu pro životní prostředí, podle kterého by se mělo v roce 2020 recyklovat minimálně 70% stavebního a demoličního odpadu (Environment Action Programme).

V uplynulých letech se téměř celosvětově věnovala recyklaci stavebního a demoličního odpadu velká pozornost, která bude jistě v dalších letech pokračovat, a to z důvodu blížícího se konce životnosti velkého množství staveb. Oblast využití recyklovaného kameniva ze stavebního a demoličního odpadu je velmi široká a lze v ní uplatnit řadu nových technologií a postupů, které přispívají k dalšímu vědeckému pokroku. Snaha zvýšit míru recyklace odpadů ze staveb a tedy uplatnit více znovupoužitého materiálu má jak aspekty společenské odpovědnosti, tak ekonomické v případě států, kde nejsou zdroje přírodního kameniva dostupné.

Nejefektivnější využití recyklovaného betonového kameniva je jako částečná nebo úplná náhrada přírodního kameniva v betonu. Odpadní beton tvoří až 40 % objemu stavebního a demoličního odpadu, což vede ke zbytečnému plýtvání s drahocennými a mnohdy neobnovitelnými přírodními zdroji. Recyklované kamenivo musí splnit požadavky na základní mechanické a trvanlivostní vlastnosti jako je objemová hmotnost, mrazuvzdornost, nasákavost, což bylo prokázáno v předešlém výzkumu (Trtík, 2019). Hrubá frakce kameniva vzhledem k dlouhodobějšímu celosvětovému výzkumu našla uplatnění pro použití v betonu jako umělé kamenivo a na základě zkušeností byly zpracovány normy, které upravují podmínky použití recyklovaného kameniva v betonu.

1.1. Procentuální nahrazení přírodního kameniva

Možnosti nahrazení hrubé frakce kameniva betonu recyklovaným kamenivem a požadavky na vlastnosti recyklovaného kameniva stanovují platné české normy (ČSN EN 206, 2018, ČSN EN 12620, 2008).

* Školitel: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Tabulka 1 : Složení jednotlivých betonových směsí – předchozí výzkum.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
CEMENT	380 ^c	300 ^c	380 ^d	300 ^d	380 ^d	300 ^d
VODA	149	149	149	149	149	149
NA^a (0-4mm)	800	850	800	850	800	850
NA^a (4-8mm)	175	175	175	175	125	125
NA^a (8-16mm)	525	525	525	525	375	375
PLASTIFIKÁTOR	2	2	2	2	2	2
RAC^b (4-8mm)	75	75	75	75	125	125
RAC^b (8-16mm)	225	225	225	225	375	375

^a Přírodní kamenivo

^b Recyklované kamenivo

^c Cement Mokrý (42,5 R)

^d Cement Radotín (42,5 R)

Tabulka 2 : Procentuální nahrazení hrubé frakce kameniva recyklovaným kamenivem pro každou směs – předchozí výzkum.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Procentuální náhrady	30%	30%	30%	30%	50%	50%

Tabulka 3 : Složení jednotlivých betonových směsí.

	C7	C8	C9	C10
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
CEMENT	380 ^c	300 ^c	266 ^d	210 ^d
VODA	149	149	149	149
NA^a (0-4mm)	800	850	650	750
NA^a (4-8mm)	0	0	0	0
NA^a (8-16mm)	0	0	0	0
PLASTIFIKÁTOR	2	2	2	2
RAC^b (4-8mm)	250	250	250	250
RAC^b (8-16mm)	750	750	750	750
PRACH	0	0	114	90

Norma umožňuje maximálně 50% nahrazení hrubého kameniva viz. Tabulka 4.

Tabulka 4 : Maximální procentuální náhrada hrubého kameniva.

	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1
Typ A	50%	30%	30%
Typ B	50%	30%	0%

^a Recyklované kamenivo typu A ze známého zdroje se může použít pro stupně vlivu prostředí, pro které byl navržen původní beton s maximálně 30% nahrazením.

^b Recyklované kamenivo typu B se nepoužívá do betonu třídy pevnosti v tlaku větší než C30 / 37.

Pro jemnou frakci recyklovaného kameniva zatím nebylo nalezeno adekvátní uplatnění, což odpovídá faktu, že použití této frakce kameniva není povoleno stávajícími platnými normami.

1.2. Složení betonové směsi

Předchozí výzkum byl založen pouze na částečné procentuální náhradě hrubé frakce v souladu s normou. Použité směsi jsou uvedeny v Tabulce 1 a procentuální náhrady kameniva jsou uvedeny v Tabulce 2.

V aktuálním výzkumu byly navrženy čtyři série betonových směsí viz. Tabulka 3. Tato série se stejně jako v předchozím výzkumu rozděluje na dvě skupiny, jedna s vyšším obsahem cementu a jedna s minimálním množstvím pro konstrukční betony. U série betonových směsí C7 a C8 došlo v receptuře k úplné náhradě střední a hrubé frakce přírodního kameniva za

recyklované kamenivo. Směs C7 obsahuje 380 kg/m³ cementu a směs C8 obsahuje 300 kg/m³, což je minimální přípustné množství cementu pro konstrukční beton. Odseparovaný jemný prach z recyklační technologie byl přidán do směsi C9, kde prach funguje jako částečná náhrada jemné frakce přírodního kameniva a v menší míře jako náhrada cementu, je to z důvodu, že jemné částice recyklovaného betonu mají latentně hydraulické vlastnosti (Zobal 2010, Šeps 2014). Náhrada byla zvolena jak pro směs C9, tak C10 jako 30 hmotnostních procent cementu. Poslední navržená směs C10 tedy obsahuje 90 kg/m³ jemného betonového prachu a 210 kg/m³ cementu. Množství jemné frakce přírodního kameniva byla upravena podle objemové rovnice.

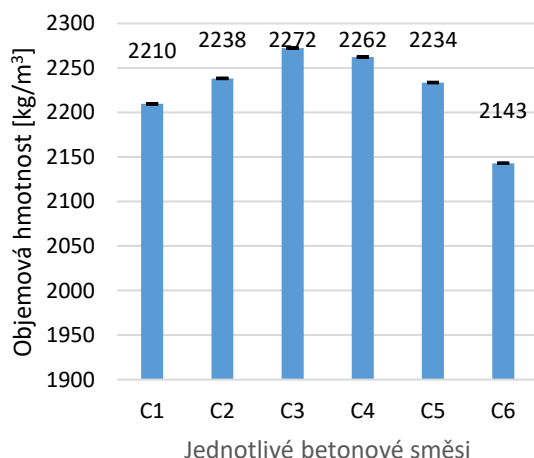
1.3. Recyklační proces

V drtící komoře jednotky vzniká největší podíl jemných částic, což znamená velkou prašnost. Úpravou technologie dochází k odsávání komory za pomoci vytvořeného podtlaku, což eliminuje rozptýl prachu do okolí. Zachycený prach je potrubím přiveden do cyklonového separátoru. Upravená recyklační technologie zachytává při drcení betonových fragmentů jemné částice, které lze využít jako jemnou frakci kameniva nebo náhradu cementu, jelikož může obsahovat částice nezhydratovaného cementu, případně mechanicky aktivované částice cementu (při drcení se částice cementu zmenší a mohou poté mít znovu hydraulické vlastnosti).

2. VÝSLEDKY

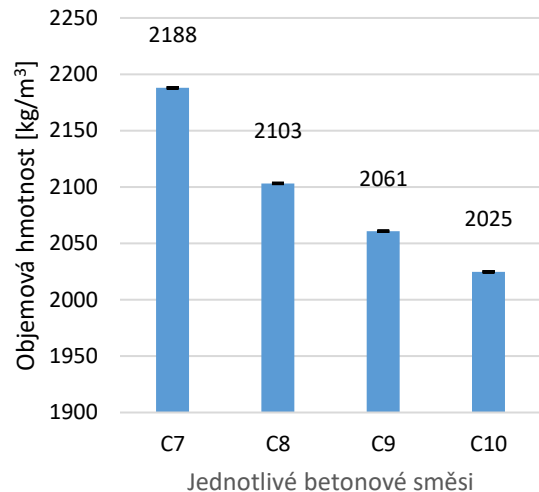
2.1. Objemová hmotnost

Průměrné výsledky objemových hmotností betonových těles z předešlého výzkumu rozdělné podle betonových směsí jsou prezentovány na obrázku 1.



Obrázek 1: Průměrné objemové hmotnosti těles z předešlého výzkumu.

Obrázek 2 prezentuje výsledky průměrných objemových hmotností s přidáním jemného prachu a redukcí objemu cementu v betonové směsi.

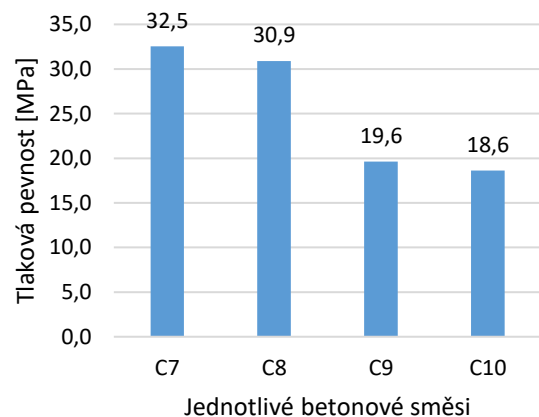


Obrázek 2: Průměrné objemové hmotnosti betonových těles.

Objemová hmotnost vzorků se vzrůstajícím obsahem recyklovaného kameniva klesá a při použití betonového prachu ještě víc. Pro splnění podmínek hutného betonu není možné použít náhradu cementu větší než 30 hmotnostních procent, protože by se objemová hmotnost dostala pod hranici 2000 kg/m³.

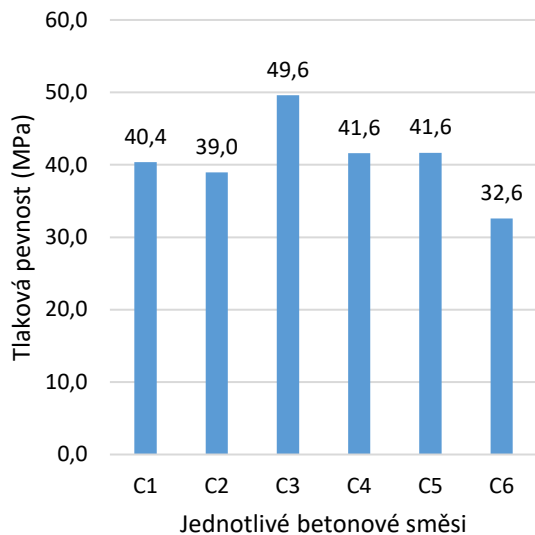
2.2. Tlaková pevnost

Pevnost v tlaku byla měřena podle ČSN EN 12390-3. Zkoušky krychelné pevnosti v tlaku byly provedeny na vzorcích o rozměrech 150/150/150 mm v univerzálním zkušebním zařízení ZD100. Pro každou sérii betonových směsí bylo celkem vyrobeno pět vzorků. Průměrné charakteristické krychelné pevnosti v tlaku jsou uvedeny na obrázku 3.



Obrázek 3: Charakteristické krychelné tlakové pevnosti.

Charakteristické krychelné tlakové pevnosti předešlého výzkumu jsou uvedeny na obrázku 4.



Obrázek 4: Průměrné krychelné tlakové pevnosti.

Všechny řady betonových směsí lze klasifikovat do třídy betonu C25/30, včetně řady C6, která byla navržena tak, aby splňovala třídu betonu C16/20.

3. DISKUZE

Charakteristické tlakové pevnosti směsí s plnou náhradou hrubé složky přírodního kameniva recyklovaným (C7 a C8) vyšly 32,5 respektive 30,9 MPa a splňují tak pevnostní třídu betonu C25/30. Co se týká směsí (C9 a C10) s plnou náhradou hrubého kameniva a 30% náhrady cementu, ty ukazují výsledky o poznání nižší 19,6 respektive 18,6 MPa a šly by použít pro beton pevnostní třídy C12/15, pro dosažení lepších výsledků by bylo nutno zmenšit procentuální náhradu cementu. Je pochopitelné, že při vyšší dávce hrubé složky recyklovaného kameniva je výsledná pevnost nižší, stále ale lze dosáhnout dobrých výsledků a splnit podmínky pro beton pevnostní třídy C 25/30.

Objemová hmotnost vzorků se vzrůstajícím obsahem recyklovaného kameniva klesá a při použití betonového prachu ještě víc. Pro splnění podmínek hutného betonu není možné použít náhradu cementu větší než 30 hmotnostních procent, protože by se objemová hmotnost dostala pod hranici 2000 kg/m³.

4. ZÁVĚR

Výsledky tlakové pevnosti betonu ukazují, že i při úplné náhradě hrubé frakce kameniva a minimálním povoleném množstvím cementu pro betonové směsi lze vytvořit zatvrdlý beton, který splňuje třídu pevnosti C25/30, případně lze použít i betonového prachu pro nižší pevnostní třídu betonu, ale zpracovat tak další druhotnou surovinu, která by jinak byla uvolňována do prostředí. Podle dosažených výsledků je patrné, že recyklace betonu ve dvou cyklech může přinést výrazně lepší výsledky než kamenivo vyrobené v běžném recyklačním procesu s jedním cyklem.

V této oblasti je třeba pokračovat, aby bylo zajištěno trvale udržitelného rozvoje, je nutné ještě zvýšit využití recyklovaného betonu a druhotných surovin obecně, což nejenom šetří přírodní zdroje, ale začne i v našich podmínkách být ekonomickou nutností. Cena přírodních materiálů bude i nadále stoupat a zanedlouho přijde doba, kdy bude cena recyklovaného kameniva nižší než přírodního. Je nutné brát v potaz omezení, které sebou použití recyklovaného kameniva nese a připravit se na ně právě výzkumem v této oblasti.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl za podpory projektu (č. TH02030649) „Environmentálně efektivní stavební a demoliční odpad do konstrukcí“, projektu (č. SGS19/149/OHK1/3T/11) a projektu (č. SGS20/109/OHK1/2T/11).

Reference

- Fischer C., Werge M., Reichel A.: EU as a Recycling Society. Present Recycling Levels of Municipal Waste and Construction & Demolition Waste in the EU European Topic Centre on Resource and Waste Management 2009. <http://ec.europa.eu/environment/action-programme/> (16. 9. 2020)
- Czech office for standards metrology and testing. (2018), ČSN EN 206 + A1 Concrete – Specification, performance, production and conformity, Prague.
- Czech office for standards metrology and testing. (2008), ČSN EN 12620 + A1 Aggregates for concrete, Prague.
- Yang, J., Du, Q., Bao, Y. (2011), Concrete with recycled concrete and crushed clay bricks, in ‘Construction and Building Materials’, Vol. 25, pp. 1935-1945
- Trtík, T. (2019), Properties of concrete with recycled aggregate manufactured by modified technology, in ‘PhD Workshop’
- Zobal, O. - Padevět, P. - Lidmila, M. - Tesárek, P.: Možnosti recyklace betonu. In Betonářské dny 2010. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2010, díl 1, s. 491-494. ISBN 978-80-87158-28-9.
- Šeps, K.; Broukalová, I. Properties of Cement Based Composite with Fine Ground Recycled Concrete In: Ecology and New Building Materials and Products 2014. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s., 2014. pp. 110-113. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-188-7.
- ČSN EN 12390-3:2009 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles