



Beton s recyklovaný kamenivem

Ing. Zdeněk Hlavsa (TBG Metrostav s.r.o.)

Beton University 2023



Proč beton s recyklovaným kamenivem?

Podmínky a požadavky norem.

Zkušenosti s výrobou RAC.

Příklady realizací.

Závěrečné shrnutí.

Udržitelný rozvoj

Cíle udržitelného rozvoje 2030



„12.2

Do roku 2030 dosáhnout udržitelného hospodaření s přírodními zdroji a jejich efektivního využívání

...

12.5

Do roku 2030 výrazně snížit produkci odpadů s pomocí prevence, redukce, recyklace a opětovného používání“

Adopce do české legislativy

- Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech

*„Sazby poplatku za ukládání odpadů na skládku
2022 – 900,- Kč
2030 - 1850,- Kč“*

- Vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady

„Odpady, které je zakázáno ukládat od roku 2030 na skládku, protože je možné je za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku účelně recyklovat.

...

Beton, cihly, tašky a keramické výrobky...“

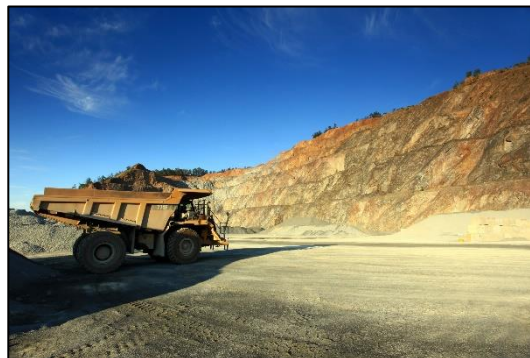
- Zákon č. 283/2021 Sb. Stavební zákon

„Požadavky na udržitelné využití přírodních zdrojů“

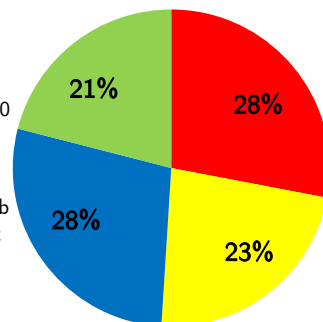
Nedostatek přírodního kameniva

- Beton TKS číslo 1/2021 – článek Ing. Godányho.
- Uzavření okolo 50 % ložisek přírodního kamene do 10 let.
- Náročný proces prodloužení nebo otevření nového ložiska (až 10 let).
- V některých regionech nedostatek kameniva již dnes.
- Častější výpadky dodávek kameniva v budoucnu.
 - Horší kvalita.
 - Vyšší cena.
 - Častější změny v recepturách betonu.
 - Méně vhodných zdrojů kameniva vyhovující podmínkám ŘSD.

Kamenolomy



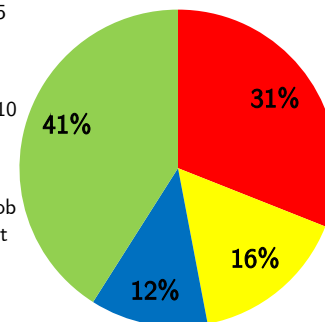
- kamenolomy s životností do 5 až 7 let
- kamenolomy s životností do 10 let
- kamenolomy s životností zásob delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou



Pískovny

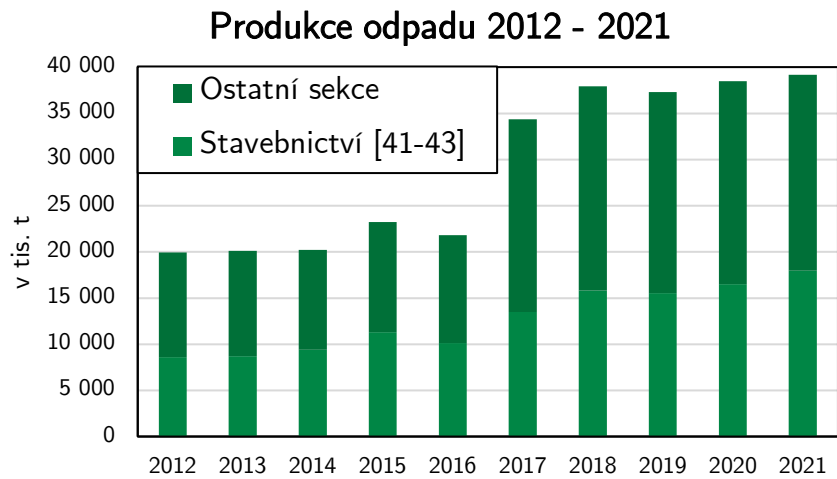


- pískovny s životností do 5 až 7 let
- pískovny s životností do 10 let
- pískovny s životností zásob delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou

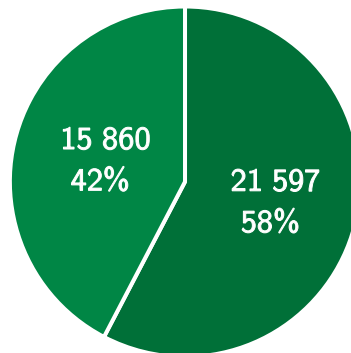


Stavební a demoliční odpad

- Sektor stavebnictví je největší producentem odpadu v ČR a Evropě.
- Z necelých 40 mil. tun odpadu vyprodukovaného každý rok přibližně 16 mil. tun (cca 42 %) vyprodukuje sekce stavebnictví.
- Podíl každým rokem stoupá.



**Podíl stavebnictví
Ø 2017 - 2021**

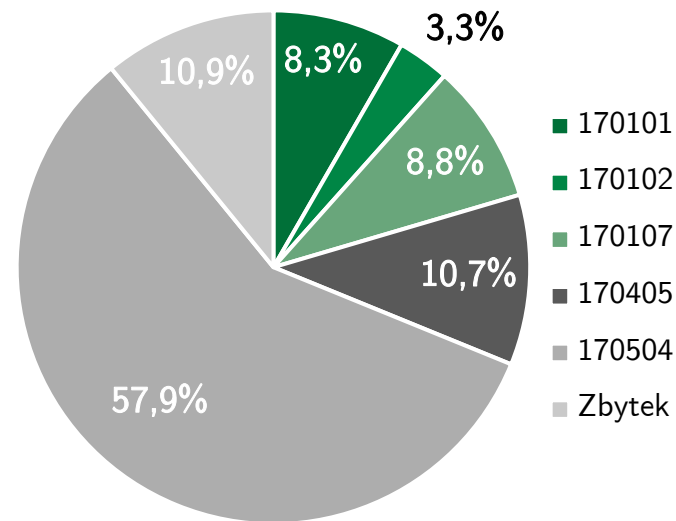


Stavební a demoliční odpad

- Vyhláška č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů
- 17 Stavební a demoliční odpad (23,6 mil. t)
 - 17 01 Beton, cihly, tašky a keramika
 - 17 01 01 Beton (1,96 mil. t)
 - 17 01 02 Cihly (0,78 mil. t)
 - 17 01 03 Tašky a keramické výrobky (0,02 mil. t)
 - 17 01 06 Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel tašek a keramických výrobků N
 - 17 01 07 Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel tašek a keramických výrobků O (2,09 mil. t)
 - 17 02 Dřevo, sklo a plast
 - 17 03 Asfaltové směsi, dehet a výrobky dehtu
 - 17 04 Kovy (včetně jejich slitin) (2,53 mil. t)
 - 17 05 Zemina (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst), kamení, vytěžená jalová hornina a hlšina (13,68 mil. t)
 - 17 06 Izolační materiály a stavební materiály s obsahem azbestu
 - 17 08 Stavební materiály na bázi sádry
 - 17 09 Jiné stavební a demoliční odpady



Podíl jednotlivých druhů odpadů
(skupina 17 - SDO)
Ø 2017 - 2021



- Potenciálně ~ 4,85 mil. tun RK ročně.
- Potřeba kameniva do betonu ~ 17 mil. tun ročně (výroba ~ 10 mil. m³ betonu).
- Úspora PK až 30 % - maximálně optimistické.

ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

Doporučení pro použití **hrubého** recyklovaného kameniva (Příloha E).

Doporučení pro použití drobného recyklovaného kameniva nejsou uvedena.

Rozlišuje dva typy recyklovaného kameniva:

Typ A: R_{c90} , R_{cu95} , R_{b10-} , R_{a1-} , FL_{2-} , XR_{g1-}

min. podíl betonové složky 90 %

max. podíl cihelné složky 10 %

- X0 – **max. 50 % nahrazení**
- XC1-4, XF1, XA1, XD1 – **max. 30 % nahrazení**
- Ostatní s. v. p., pouze pro které byl navržen původní beton (musí být známý zdroj) – **max. 30 % nahrazení**



Typ B: R_{c50} , R_{cu70} , R_{b30-} , R_{a5-} , FL_{2-} , XR_{g2-}

min. podíl betonové složky 50 %

max. podíl cihelné složky 30 %

- X0 – **max. 50 % nahrazení**
- XC1-2 – **max. 20 % nahrazení**
- Ostatní s. v. p. – **0 %**
- Max. pevnostní třída C 30/37

ČSN P 73 2404 – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace

Doplnující národní parametry platné v ČR (Příloha N)

Rozlišuje dva typy recyklovaného kameniva (drť i písek):

Typ 1:

min. podíl betonové složky 90 %
max. podíl cihelné složky 10 %

- Jediná možnost pro použití do betonu.
- Nelze použít pro s. v. p. XF2, XF4 a XD1-3.



Typ 2:

min. podíl betonové složky 70 %
max. podíl cihelné složky 30 %

- Lze použít pouze pro výrobu betonů pevnostních tříd C 8/10 a nižších.
- **Téměř nepoužitelné.**

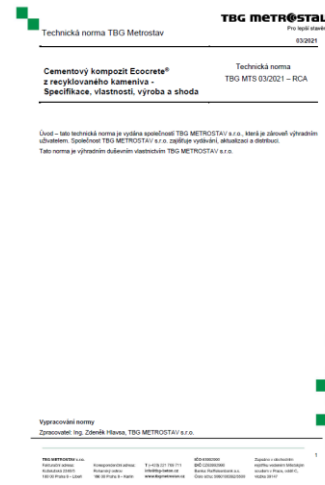
Shrnutí

- Použití betonového recyklátu:
 - Max. možná náhrada 50 % (pouze prosté betony).
 - Náhrada 30 % pouze pro s. v. p. XC1-4, XF1, XA1 nebo i XF3 a XA2-3 pokud známe zdroj, ze kterého byl recyklát vyroben.

- Použití cihelného (směsného) recyklátu:
 - Max. možná náhrada 50 % (pouze pro prosté betony do pevnostní třídy C 8/10).

Alternativní cesta pro výrobce betonu:

- Vydání podnikové normy pro výrobu cementového kompozitu (materiálu nelze říkat beton).
 - Požadavky na recyklované kamenivo vychází z platných norem.
 - Možnost vyšší náhrady recyklovaným kamenivem obou druhů.
- Vystavení Stavebně technického osvědčení autorizovanou osobou.



Přírodní kamenivo x recyklované kamenivo

Přírodní kamenivo

Těžené



Drcené



Recyklované kamenivo

Betonové



Směsné



- Recyklované kamenivo má obecně horší vlastnosti než přírodní kamenivo.
→ Nižší pevnost a objemová hmotnost, vyšší nasákavost. Kolísání kvality v čase (nečistoty).
- Vyšší nároky na hlídání kvality. Častější změny zdroje (demolované stavby) → změna vlastností RA.
- Náročnější logistika a skladování RA.
- Zatím ekonomicky výhodnější (ne za všech podmínek). V budoucnu spíše zdražování RA.

Druhy recyklovaného kameniva

Betonový recyklát

Hrubá frakce



Drobná frakce



Směsný (cihelný) recyklát

Hrubá frakce



Drobná frakce



Rozdíl betonový x směsný (cihelný) RA:

- Betonový recyklát obecně kvalitnější, ale hůře dostupný a dražší.
- Benevolentnější přístup norem.
- Potenciál cihelného recyklátu k výrobě materiálu vyšší hodnoty.

Rozdíl hrubá x drobná frakce RA:

- Hrubá frakce obecně lepší poměr cena/výkon.
- Vyšší šance znečištění nežádoucími materiály a předměty u hrubé frakce.
- Problém odplavitelných částic u drobné frakce.

Výroba recyklovaného kameniva

Zdroj: stavební a demoliční odpad - suť



Nejlepší scénář:

selektivní demolice – postupná demolice s průběžným tříděním materiálů a jejich následná recyklace či likvidace v případě nebezpečného odpadu

→ vyšší časová i finanční náročnost, v některých podmínkách těžko proveditelné, v ČR se téměř neprovádí

Lepší scénář:

odstranění nebezpečných materiálů (azbest), separace materiálů na bázi sádky, dřeva, skla – následná demolice

Nejhorší scénář:

demolice všeho najednou a nesprávné odstranění odpadu

Výroba recyklovaného kameniva

Proplachování recyklátu po primárním třízení:



Čistý recyklát k drcení



Separované plovoucí částice



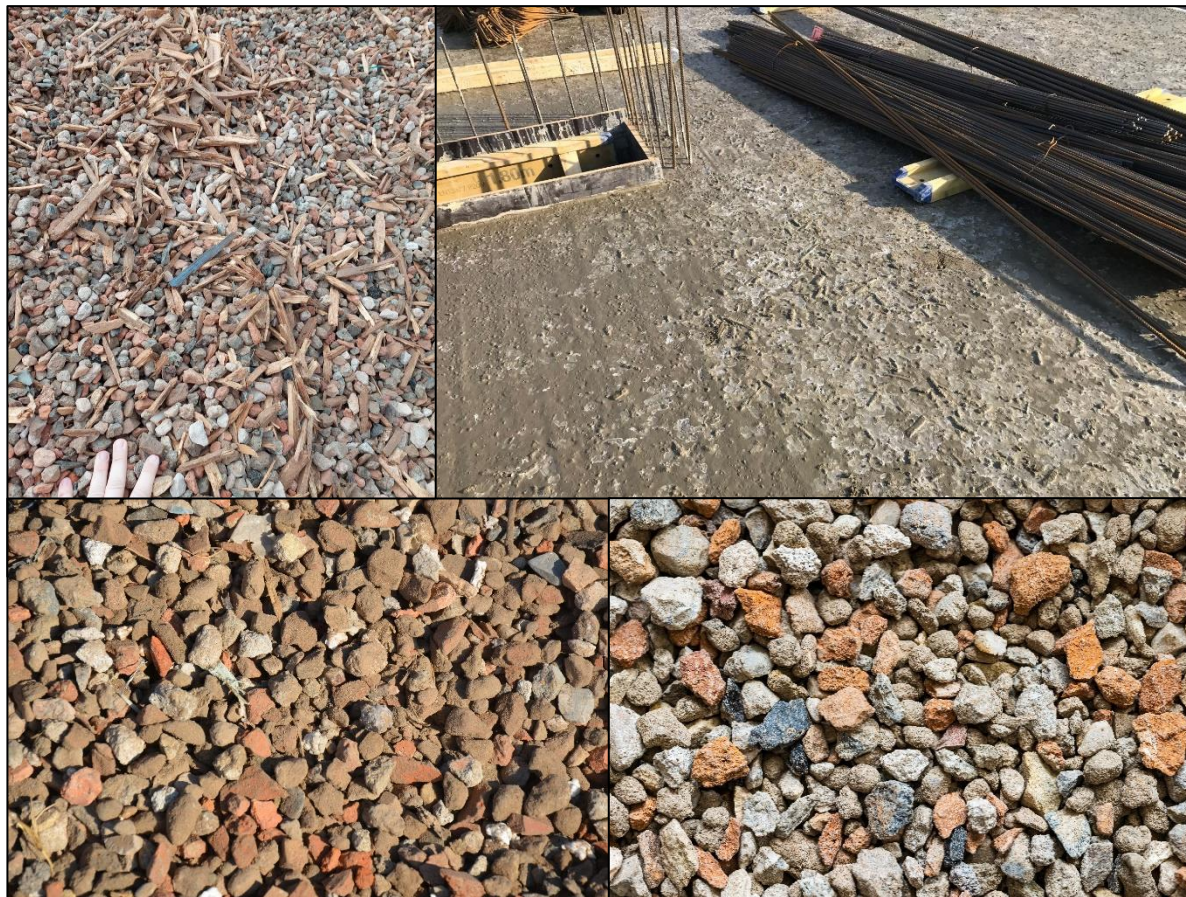
→ Vyšší náklady na výrobu recyklátu

→ Spotřeba vody pro čištění

→ Nižší podíl odplavitelných částic a plovoucích materiálů

Problémy spojené se špatným zpracováním SDO a výrobou RA

- Vysoký obsah plovoucích částic (dřevo, plynosilikáty, plasty atd.)
→ vliv na mechanické vlastnosti betonu, estetika a problémy s návaznými pracemi
- Vysoký obsah jemných odplavitelných částic
→ vliv primárně na trvanlivost a zpracovatelnost betonu
→ u jemného recyklátu problémy se skladování a dávkování ze sil/násypek
- Zbytky sádkokartonu, sádkových omítek
→ vliv na tuhnutí a tvrdnutí betonu
- Zbytky výztuže aj. ocelových předmětů
→ hrozí poškození strojního vybavení



Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

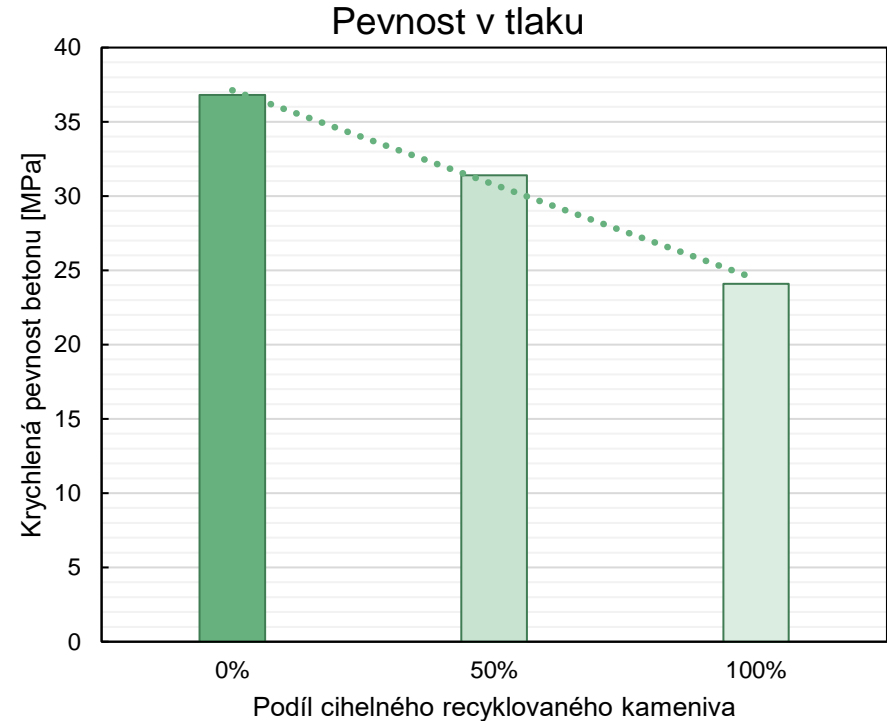
Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- **Ztráta konzistence**
 - Vyšší nasákavost kameniva snižuje konzistenci betonu v čase.
 - Lze částečně zlepšit technologií výroby betonu.

Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- Ztráta konzistence
- **Pevnost v tlaku**
 - Snižuje se s podílem recyklátu v betonu.
 - Pokles pevnosti 15 – 35 %.
 - Lze kompenzovat složením betonu a technologií výroby.



Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

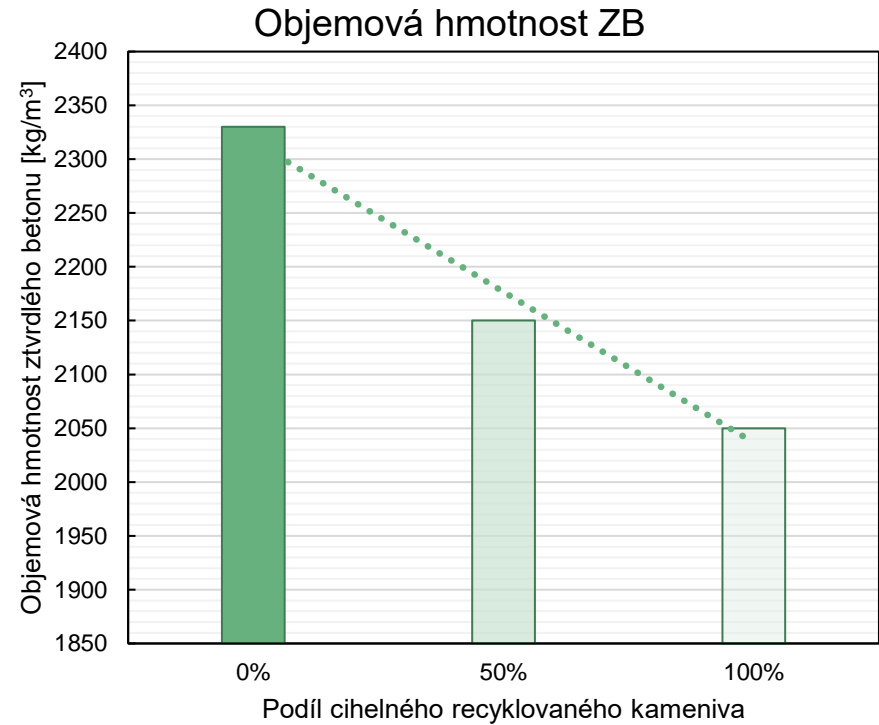
Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- Ztráta konzistence
- Pevnost v tlaku
- **Pevnost v tahu**
 - Nižší vliv než na pevnost v tlaku.

Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

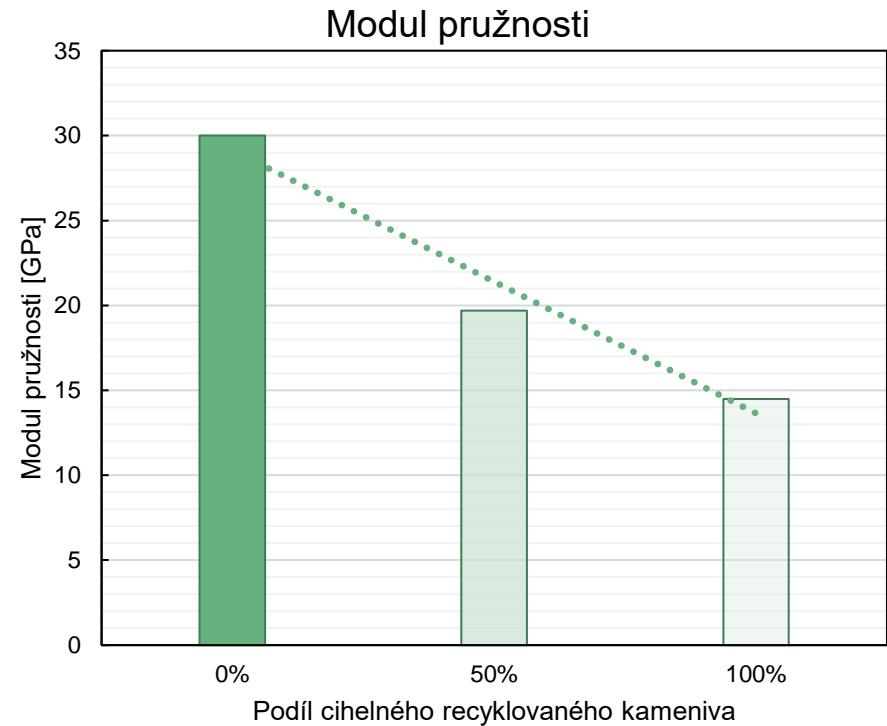
- Ztráta konzistence
- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu
- **Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**
 - Snižuje se s podílem recyklátu v betonu.
 - Pokles ZOH o 5 – 15 %.
 - Ovlivňuje zejména akustické vlastnosti.



Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- Ztráta konzistence
- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu
- Ztvrdlá objemová hmotnost
- **Modul pružnosti**
 - Snížení o 35 – 50 %!
 - Nelze efektivně zlepšit

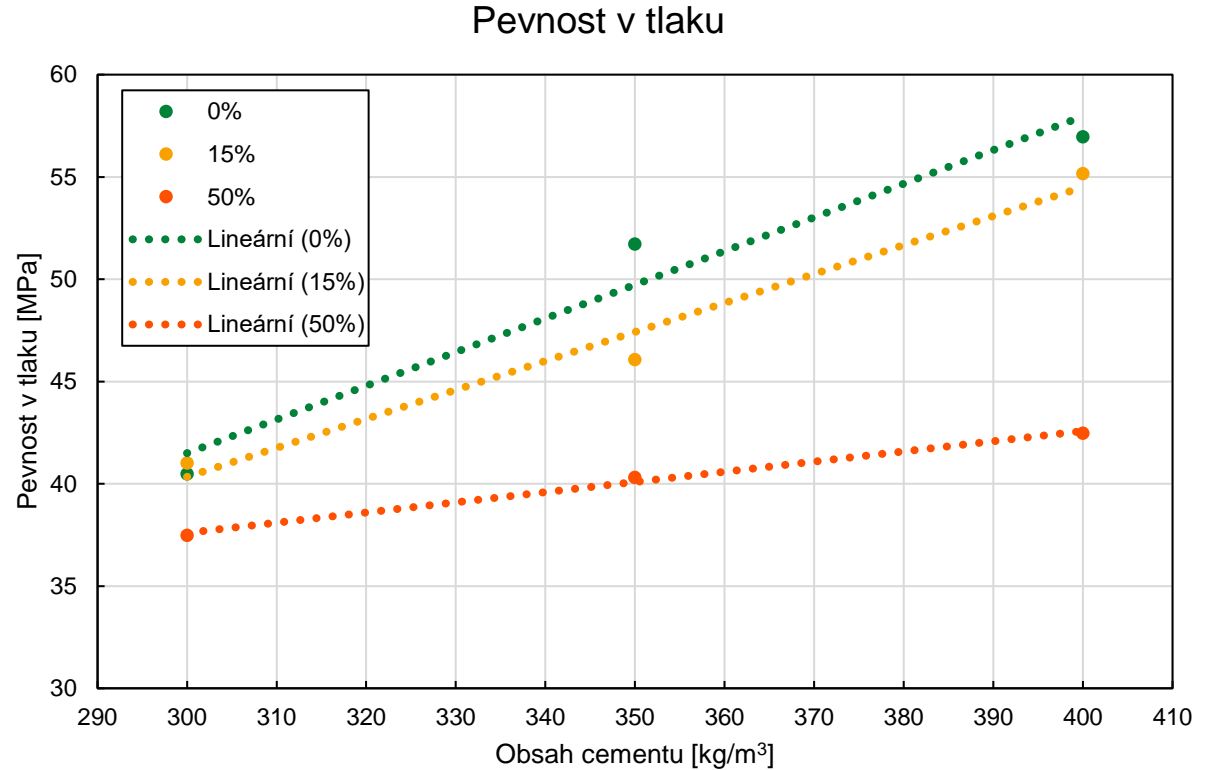


Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

Vliv směsného recyklátu frakce 0/8

▪ Pevnost v tlaku

- Při 15 % náhradě pokles pevnosti v nízkých jednotkách MPa.
- Při 50 % náhradě pokles pevnosti o 7 – 25 %.



Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

Vliv směsného recyklátu frakce 0/8

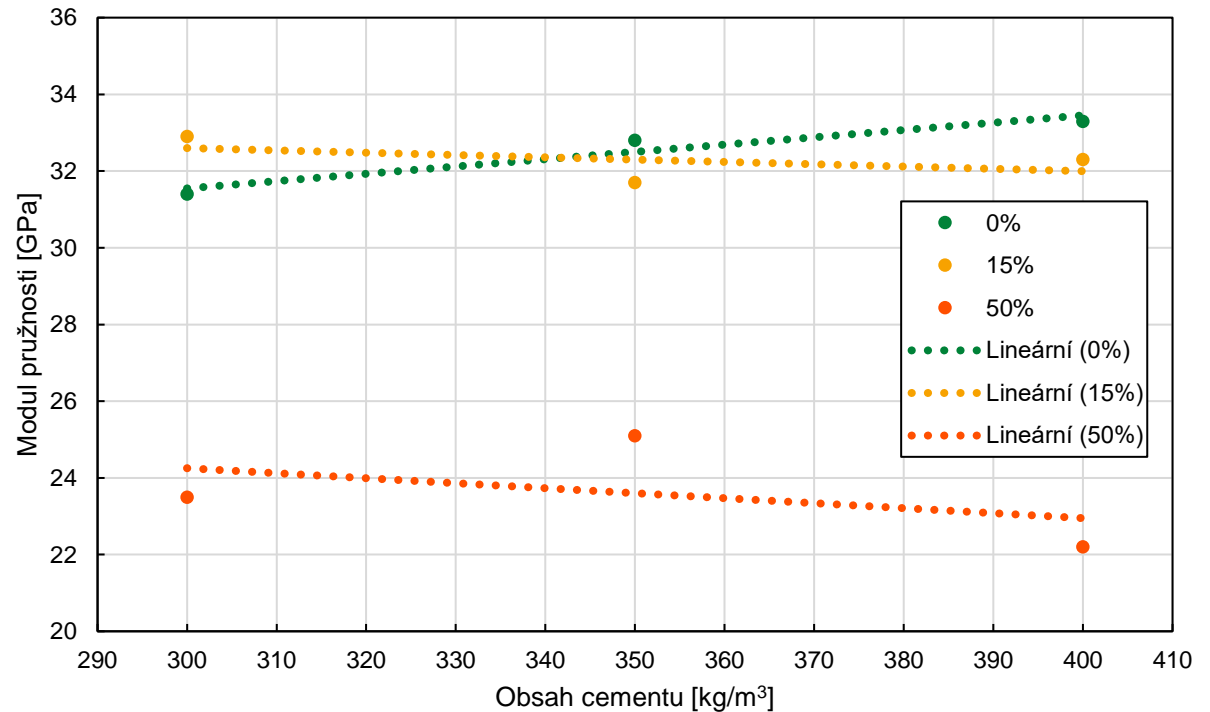
▪ Pevnost v tlaku

- Při 15 % náhradě pokles pevnosti v nízkých jednotkách MPa.
- Při 50 % náhradě pokles pevnosti o 7 – 25 %.

▪ Modul pružnosti

- Při 15 % náhradě bez vlivu.
 - Při 50 % náhradě pokles modulu o 20 – 30 %.
- Použití recyklátu drobné frakce v malých dávkách významně neovlivňuje mechanické vlastnosti betonu.

Modul pružnosti

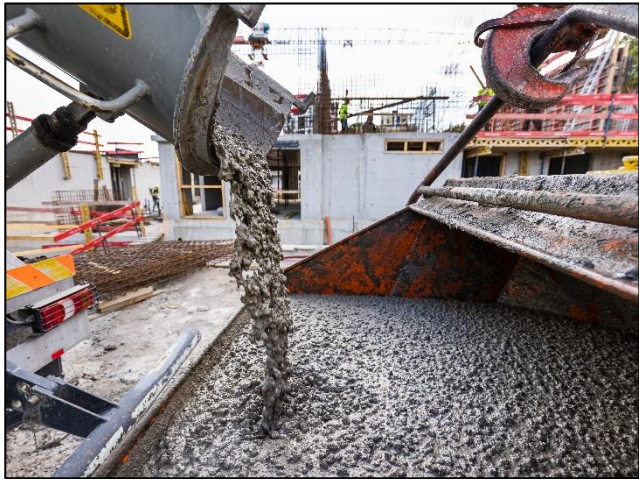


Ukázky použití betonu s recyklovaným kamenivem na stavbách

OS Na Vackově – pilotní projekt

ECOCRETE® - cementový kompozit s náhradou hrubého kameniva recyklátem (50 %)

C 25/30 90d – stěnové konstrukce



Hrubá frakce kameniva (8/16 mm) z cihelného směsného recyklátu.



Pevnostní třída betonu C 25/30.



Výsledná stěna z betonu s 50 % náhradou recyklovaného kameniva.

Ukázky použití betonu s recyklovaným kamenivem na stavbách

Nová Waltrovka

ECOCRETE® - cementový kompozit s náhradou hrubého kameniva směsným recyklátem (50 %)

C 8/10 – podkladní betony



Hrubá frakce kameniva (8/16 mm) z cihelného směsného recyklátu.



Pevnostní třída betonu C 8/10.



Lití podkladních betonů.

Ukázky použití betonu s recyklovaným kamenivem na stavbách

Rohan City

Beton s náhradou drobného kameniva směsným recyklátem (15 %), posudek statika

C 25/30 – stropy



Jemná frakce kameniva (0/8 mm) z cihelného směsného recyklátu.



Pevnostní třída betonu C 25/30.



Lití stropních konstrukcí.

Ukázky použití betonu s recyklovaným kamenivem na stavbách

Využití hrubého RA pro primární převrtávané piloty z prostého betonu – VZT šachta Metra D

→ Snazší převrtávání betonu z RA



U běžných pilot je nutné vzít v potaz modul pružnosti



Experimentální ověření betonáže pilot s RA.

Zkoušení integrity piloty o průměru 0,9 m a délce 8 m.



Provedení vývrtů po celé délce piloty.

Integrita pilot ověřena dvěma metodami PIT a CHA.



Piloty bez známky segregace či výchylek pevnosti v délce piloty.

Ukázky použití betonu s recyklovaným kamenivem na stavbách

Celkem již desítky staveb, kde byl beton s recyklátem použit

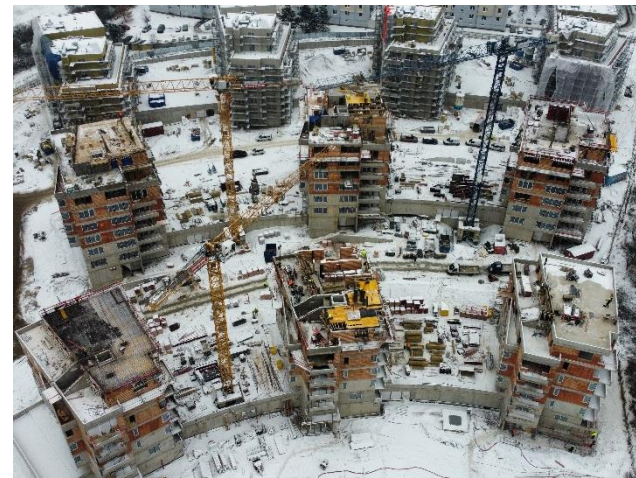
Další rozšiřování nových aplikací



Optimalizace trati – podkladní betony.



VESI Hostivař – podkladní betony a stěnové konstrukce.



Výhledy Chodovec – podkladní a stěnové konstrukce.

Je beton s recyklátem materiál budoucnosti?

- Je nutné hledat řešení na sílící surovinové, ekonomické a environmentální tlaky.
- Beton s recyklátem má obecně horší vlastnosti než běžný beton.
- Nejvíce je ovlivněn modul pružnosti betonu, a to hlavně při použití hrubého recyklátu.
- Není nutné za každou cenu vyrábět betony se 100 % recyklátu.
- Při nižších dávkách (15 – 30 %) je vliv recyklátu na vlastnosti betonu zanedbatelný nebo malý.
- Aktuálně v normách nedostatečná opora pro výrobu betonu z recyklovaného kameniva.
- Nutnost výroby betonu z recyklovaného kameniva podle PN a STO → nedůvěra investorů a projektantů.
- Momentálně převážně podkladní betony, nenosné konstrukce, vnitřní stěnové konstrukce, převrtávané piloty.
- V budoucnu potenciál k mnohem širšímu využití při výrobě betonu.
- Nutná spolupráce všech zúčastněných stran – investor x projektant x dodavatel/subdodavatel.

Děkuji za pozornost!

Kontakt na prezentujícího:

Ing. Zdeněk Hlavsa

Telefon: +420 606 273 274

Email: zdenek.hlavsa@tbg-beton.cz

Web: www.tbg-metrostav.cz

TBG METROSTAV

