



# Průmyslová výroba betonu s recyklovaným kamenivem

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

Vápno, cement, ekologie 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“*

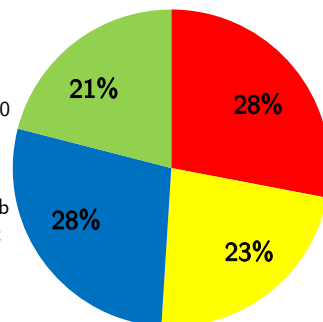
## Nedostatek přírodního kameniva

- 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 vyhovujících podmínkám ŘSD.

Kamenolomy



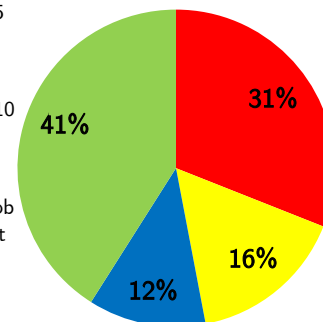
- kamenolomy s životností do 5 až 7 let
- kamenolomy s životností do 10 let
- kamenolomy s životností zásob delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou



Pískovny

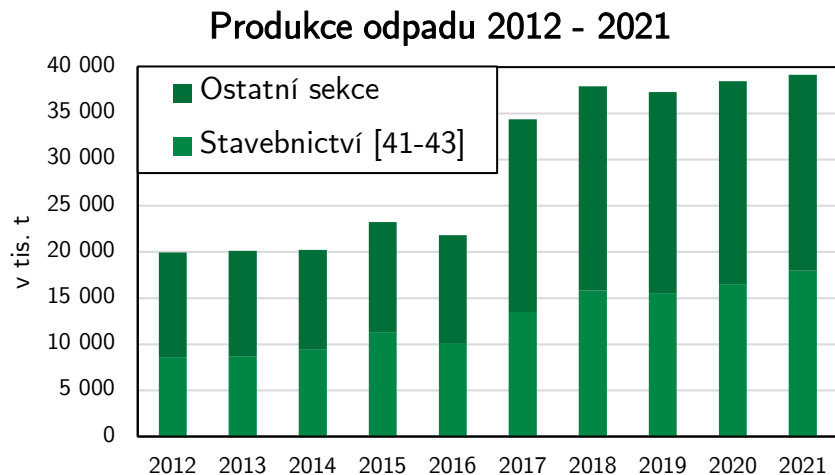


- pískovny s životností do 5 až 7 let
- pískovny s životností do 10 let
- pískovny s životností zásob delší než 10 let
- počet lokalit s již ukončenou historickou těžbou

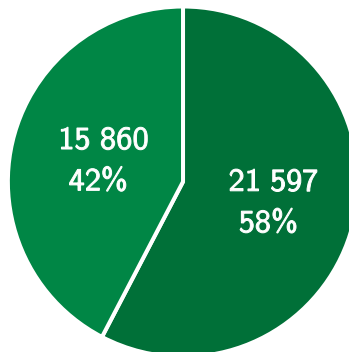


## Stavební a demoliční odpad

- 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**

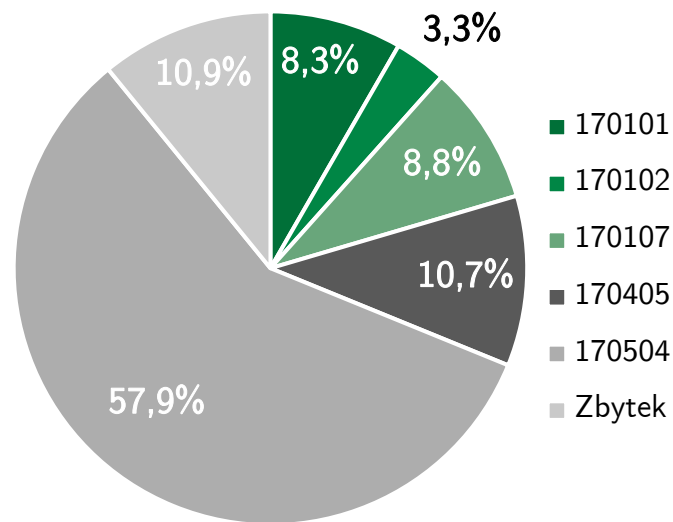


## Stavební a demoliční odpad

- 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. m<sup>3</sup> 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:**  $Rc_{90}$ ,  $Rcu_{95}$ ,  $Rb_{10-}$ ,  $Ra_{1-}$ ,  $FL_{2-}$ ,  $XRg_{1-}$

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:**  $Rc_{50}$ ,  $Rcu_{70}$ ,  $Rb_{30-}$ ,  $Ra_{5-}$ ,  $FL_{2-}$ ,  $XRg_{2-}$

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 – Doplňující informace

Doplňující 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.

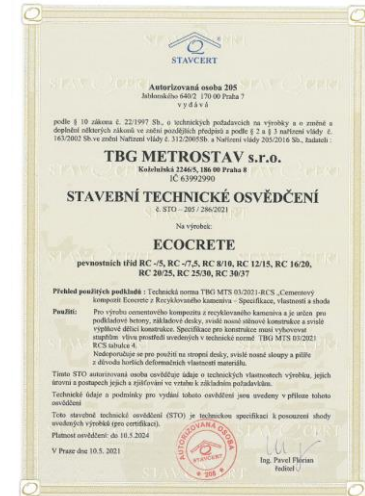
## Shrnutí

- 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 Stavební technického osvědčení autorizovanou osobou.



# Přírodní kamenivo x recyklované kamenivo

## Přírodní kamenivo

### Těžené



### Drcené

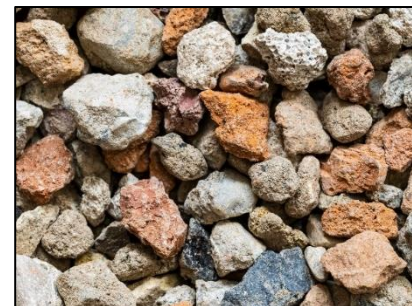


## Recyklované kamenivo

### 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

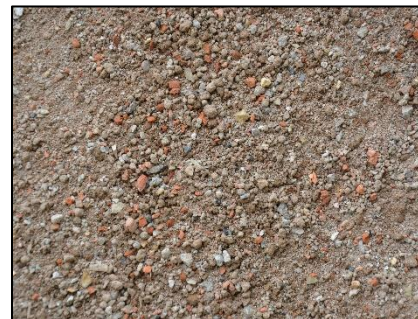


## Směsný (cihelňý) recyklát

Hrubá frakce



Drobná frakce



Rozdíl betonový x směsný (cihelňý) 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.

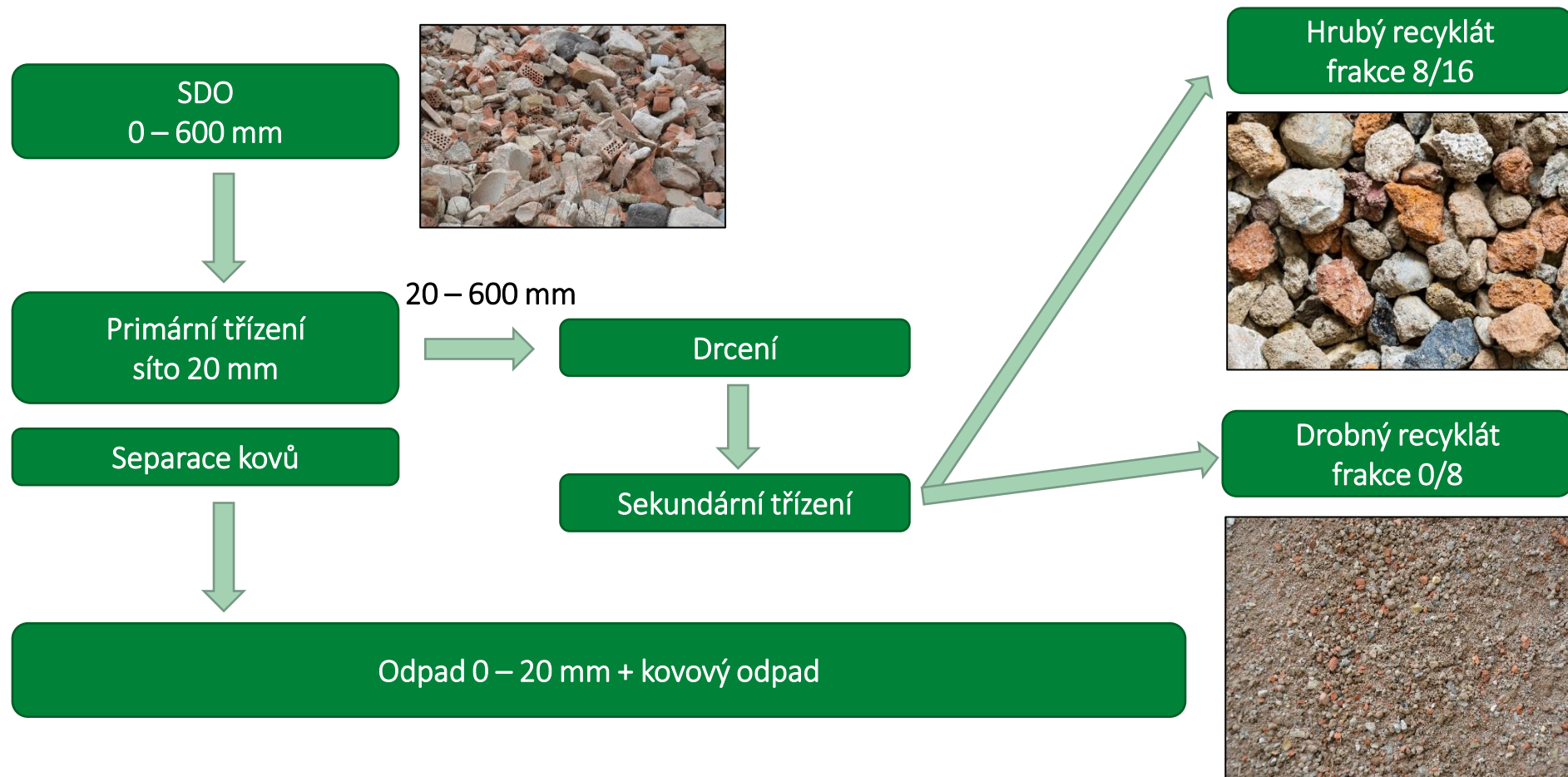
## Výroba recyklovaného kameniva

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



# Výroba recyklovaného kameniva

**Proplachování recyklátu po primárním třídění:**



**Čistý recyklát k drcení**



**Separované plovoucí částice**



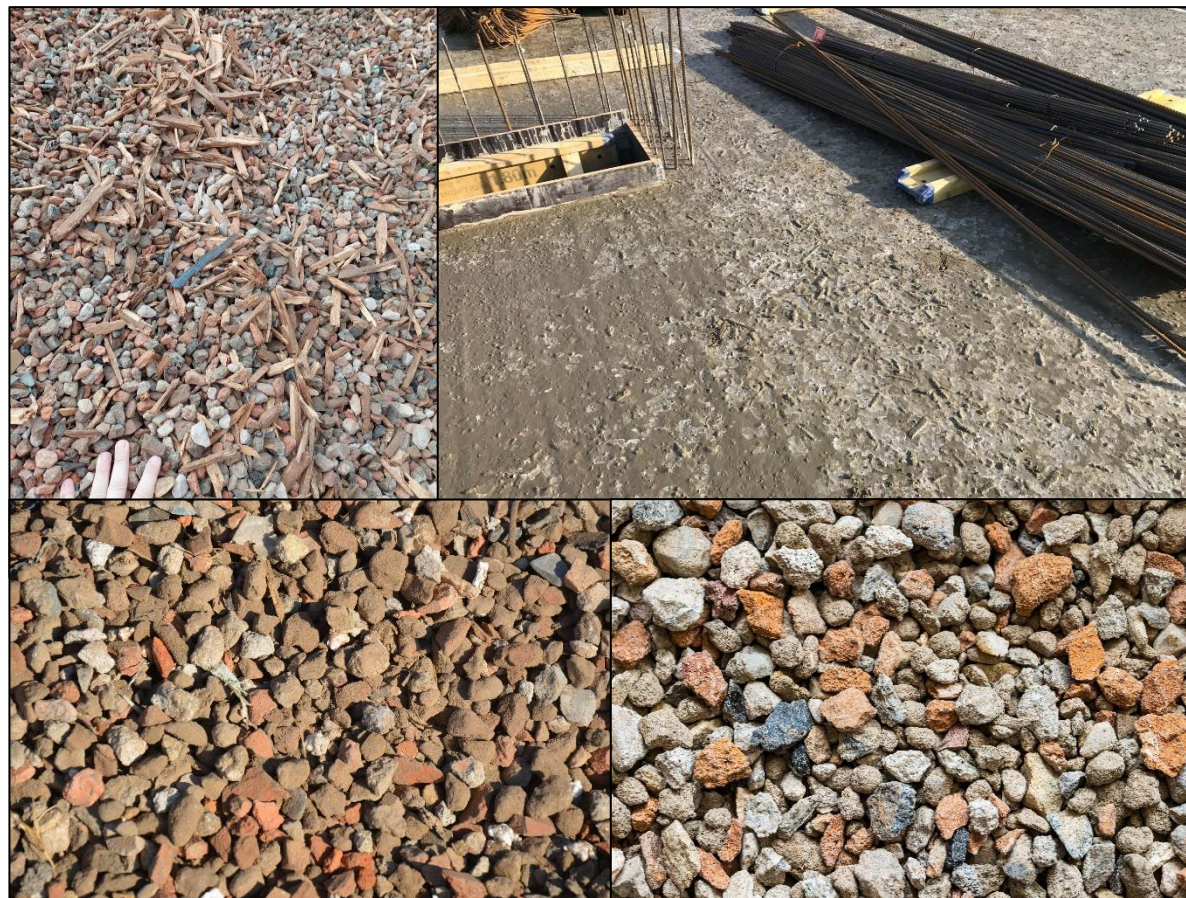
→ Vyšší náklady na výrobu recyklátu

→ 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 sádrokartonu, sádrových omítek  
→ vliv na tuhnutí a tvrdnutí betonu
- Zbytky výztuže aj. ocelových předmětů  
→ hrozí poškození strojního vybavení



# Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

---

---

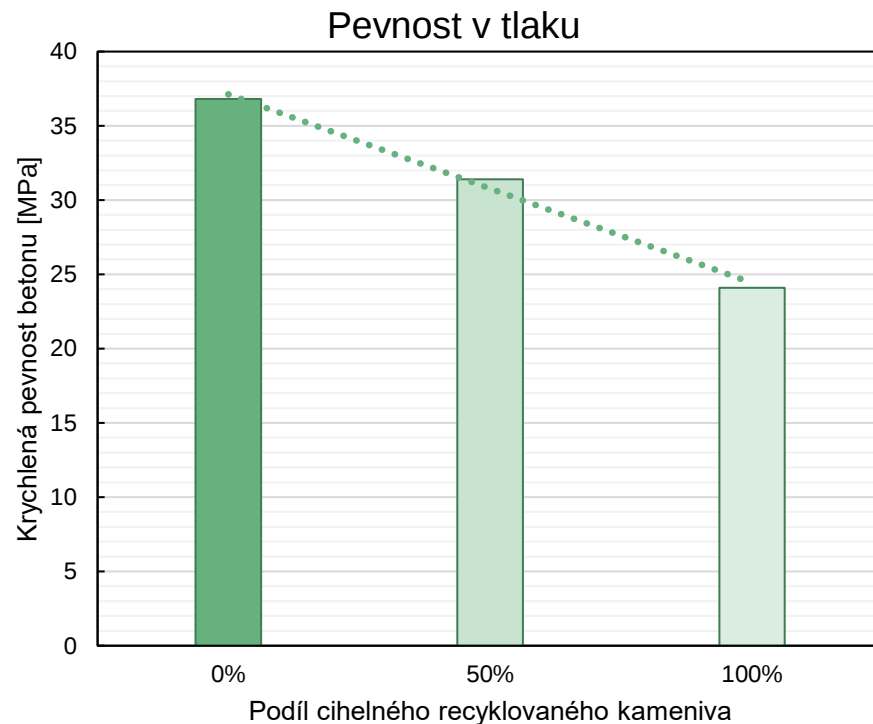
## Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- **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

---

---

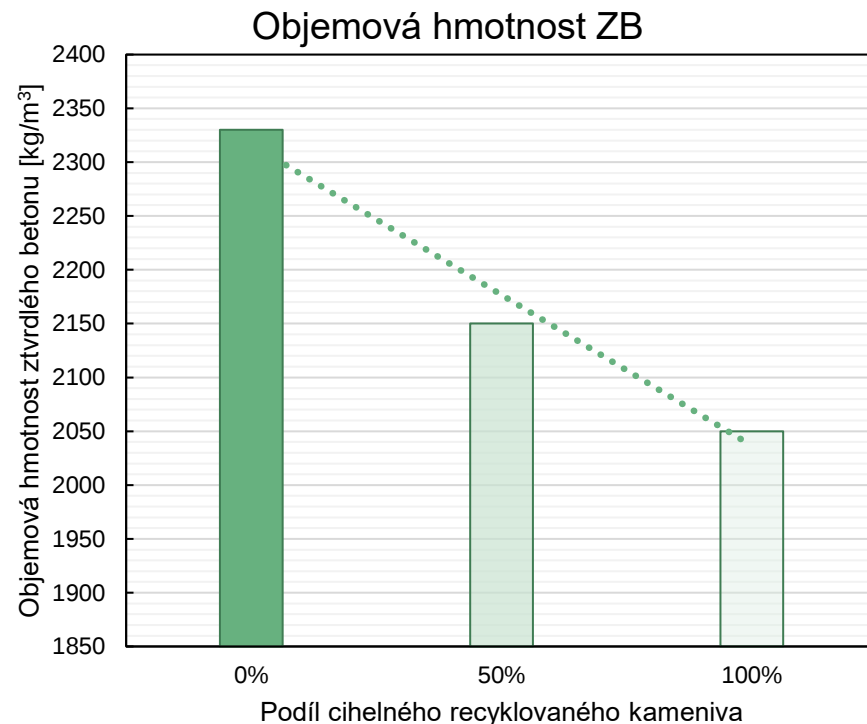
## Vliv směsného recyklátu 50 % a 100 % náhrada

- 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

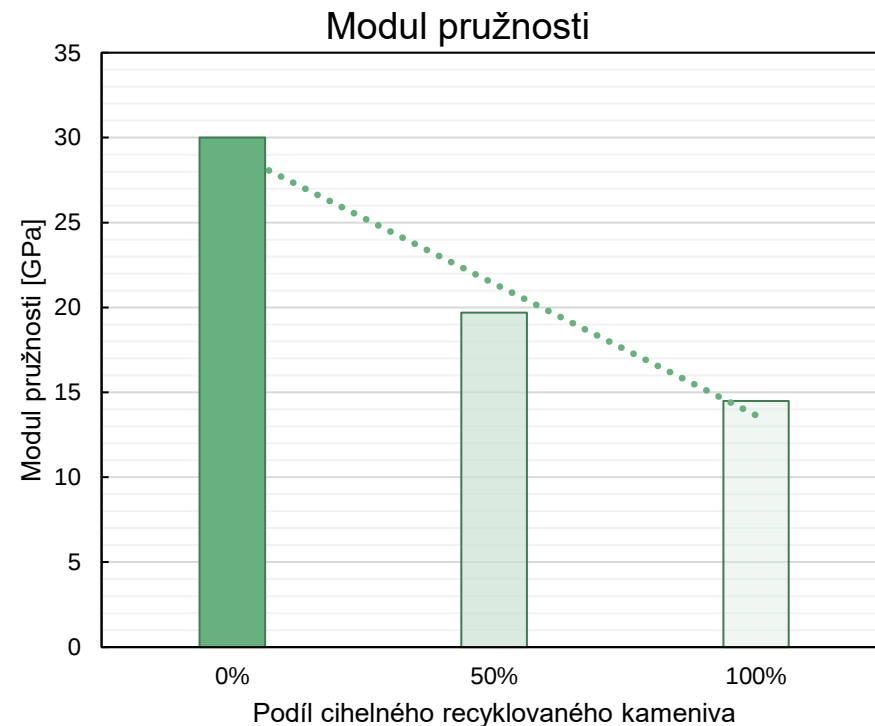
- Ztráta konzistence
- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu
- **Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**
  - Snižuje se s podílem recyklátu v betonu.
  - Pokles ZOH o 5 – 15 %.
  - Ovlivňuje zejména akustické vlastnosti.



# 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

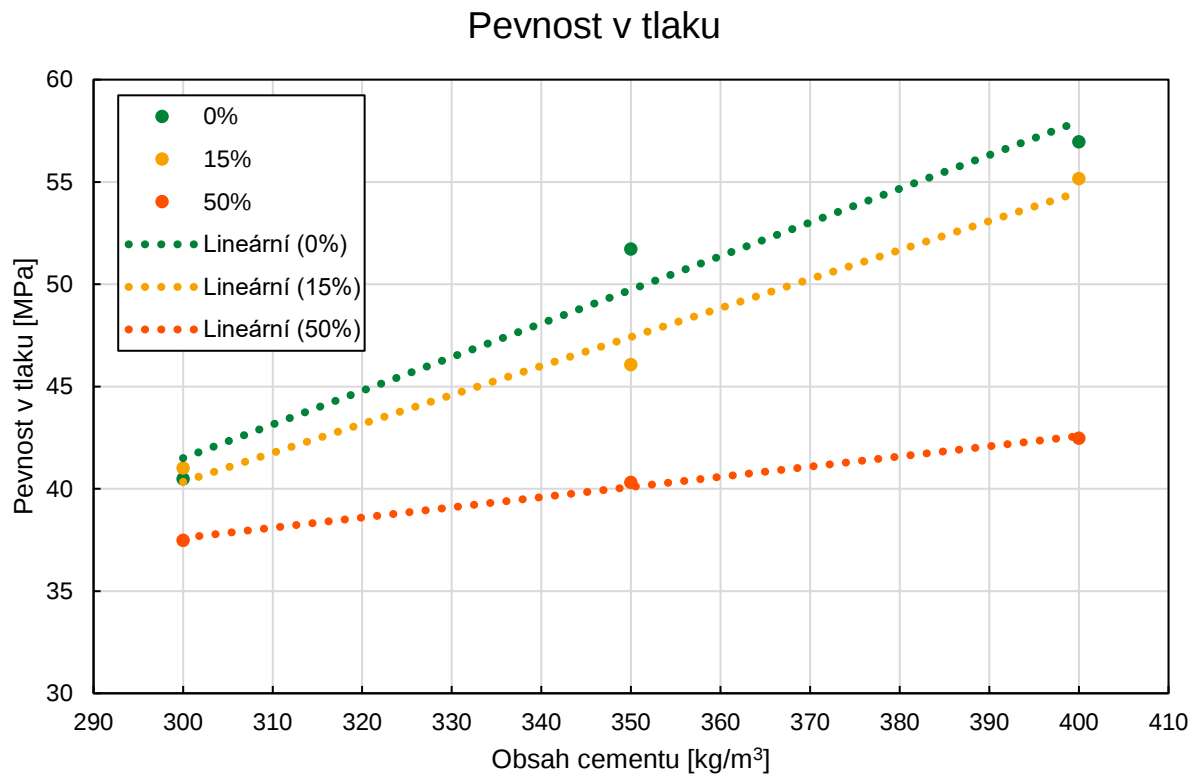


# Vliv recyklovaného kameniva na vlastnosti betonu

## 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

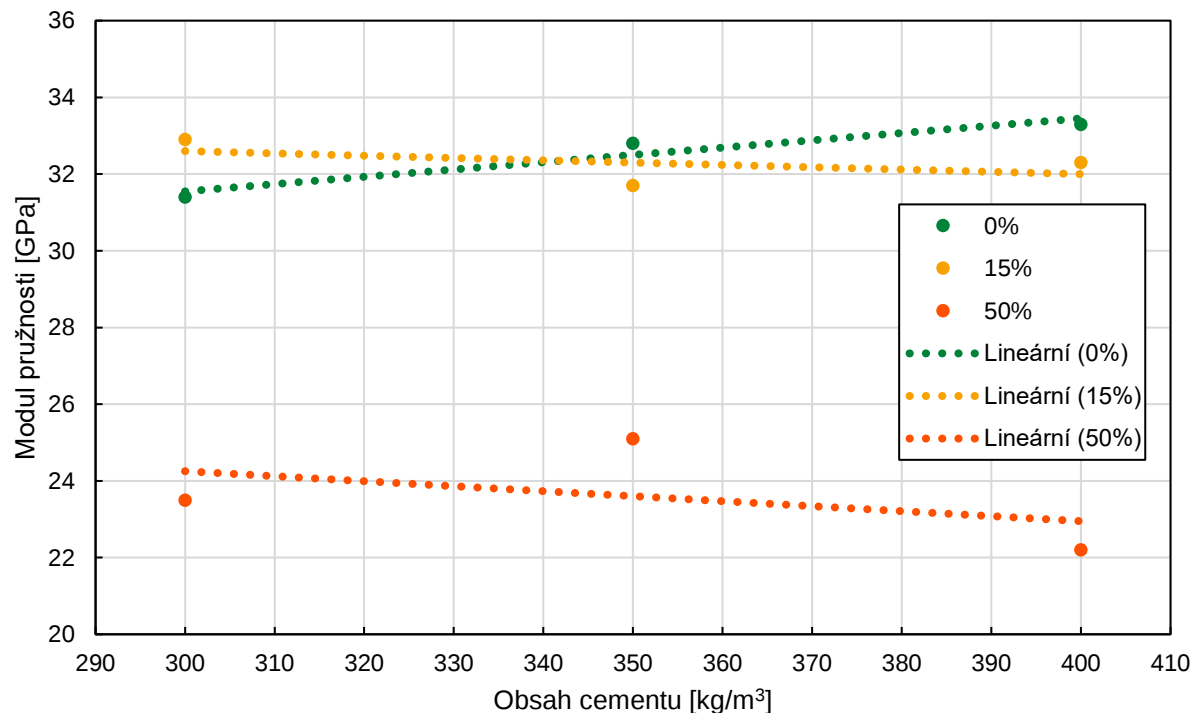
### ■ Pevnost v tlaku

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

### ■ Modul pružnosti

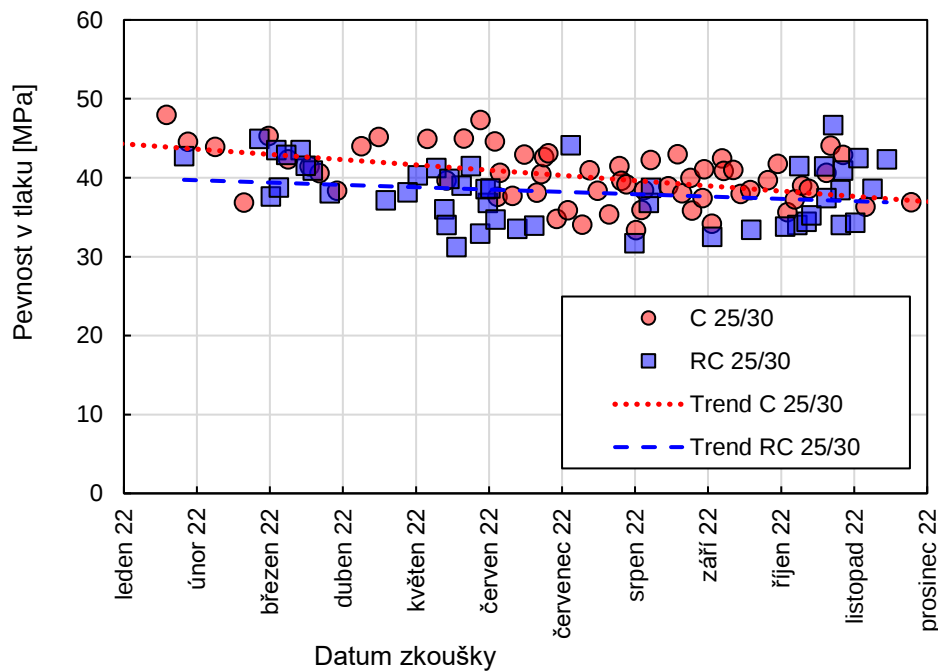
- Při 15 % náhradě bez vlivu.
  - Při 50 % náhradě pokles modulu o 20 – 30 %.
- Použití recyklátu drobné frakce v malých dávkách významně neovlivňuje mechanické vlastnosti betonu.

## Modul pružnosti

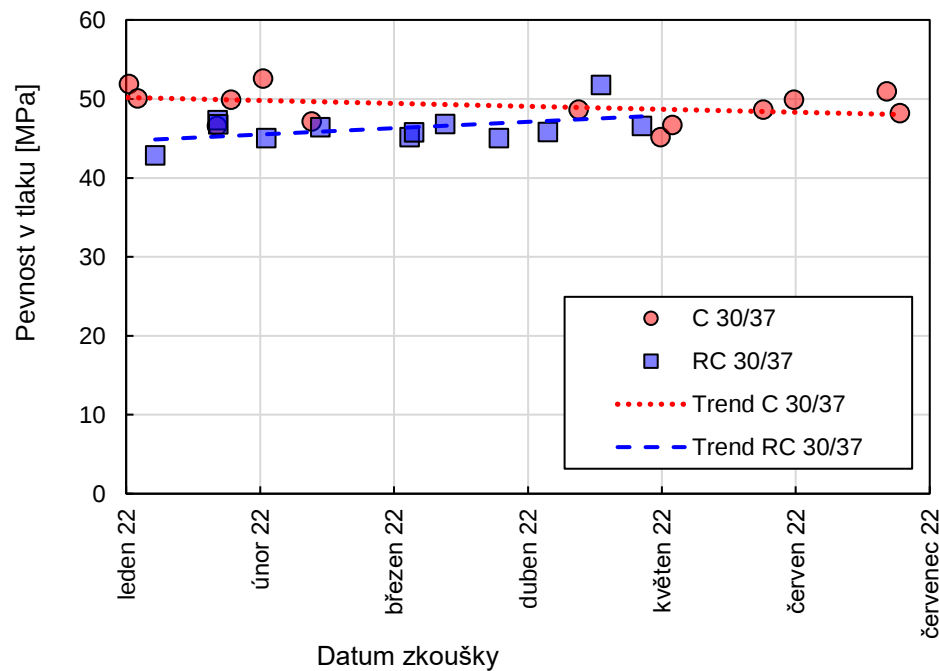


# Kolísání pevnosti betonu: NAC x RAC

## Pevnostní třída C 25/30, RA frakce 0/8

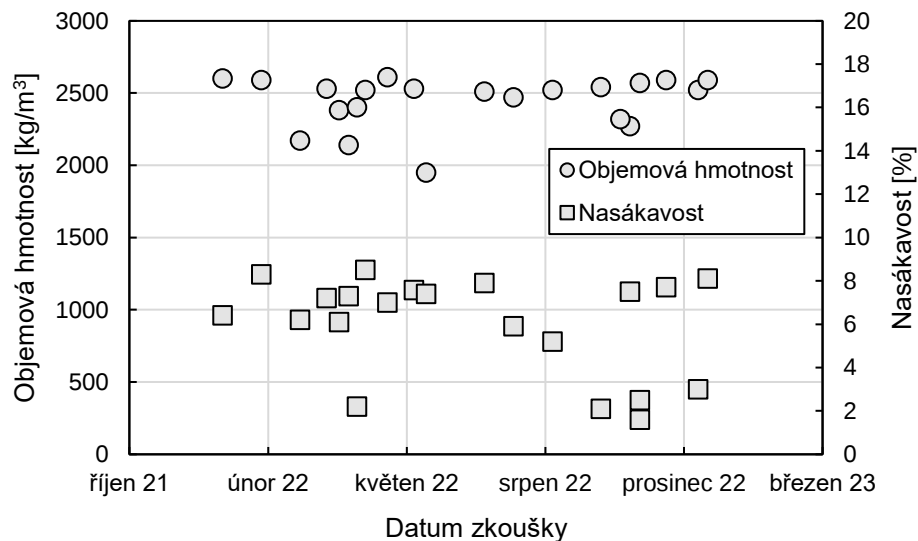


## Pevnostní třída C 30/37, RA frakce 0/8



# Kolísání vlastností recyklovaného kameniva

## Objemová hmotnost a nasákavost RA frakce 8/16



## Hodnoty sledovaných parametrů RA frakce 8/16 v roce 2022

| Měřený parametr      | MIN. | MAX. | Ø    | σ   | SI     | Specifikace   |
|----------------------|------|------|------|-----|--------|---------------|
| Obsah jemných částic | 0,4  | 5,9  | 2,0  | 1,0 | %      | ČSN EN 933-1  |
| Objemová hmotnost    | 1950 | 2610 | 2440 | 170 | kg/m³  | ČSN EN 1097-6 |
| Nasákavost           | 1,6  | 8,5  | 6,0  | 2,0 | %      | ČSN EN 1097-6 |
| Obsah složky Rc      | 56   | 68   | 62   | 4   | %      | ČSN EN 933-11 |
| Obsah složky Rcu     | 65   | 82   | 77   | 6   | %      | ČSN EN 933-11 |
| Obsah složky Rb      | 17   | 32   | 21   | 5   | %      | ČSN EN 933-11 |
| Obsah složky Ra      | 0,0  | 0,8  | 0,5  | 0,3 | %      | ČSN EN 933-11 |
| Obsah složky XRg     | 0,0  | 1,9  | 0,6  | 0,6 | %      | ČSN EN 933-11 |
| Obsah složky FL      | 0,0  | 4,5  | 1,2  | 0,9 | cm³/kg | ČSN EN 933-11 |

→ Objemová hmotnost okolo 2500 kg/m³, nasákavost 6 – 8 %

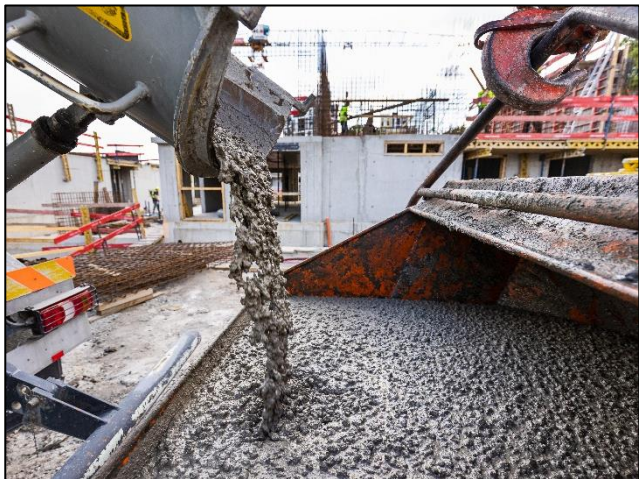
→ Obsah složek v čase také stabilní – obsah Rcu 70 – 80 %, Rb 20 %

# 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

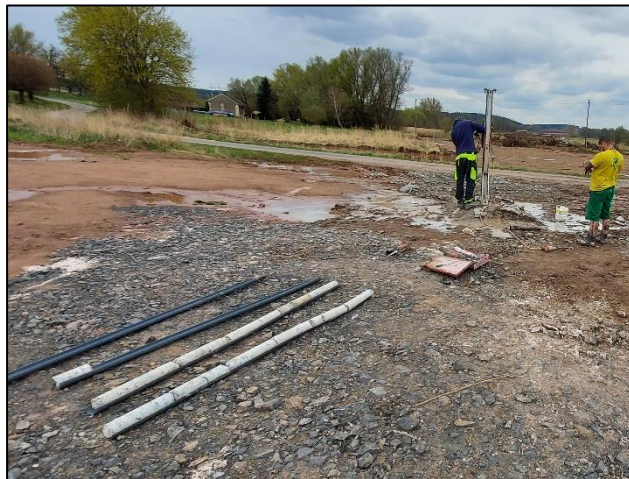


U běžných pilot je nutné vzít v potaz modul pružnosti



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

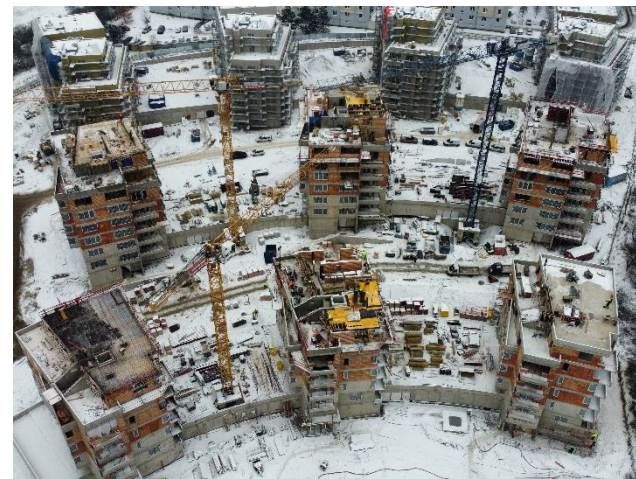
Další rozšiřování nových aplikací



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](mailto:zdenek.hlavsa@tbg-beton.cz)

Web: [www.tbg-metrostav.cz](http://www.tbg-metrostav.cz)

**TBG metR©stav**

