

# Prefabrikované dílce s minimalizovaným obsahem cementu s využitím jemnozrnných druhotných materiálů

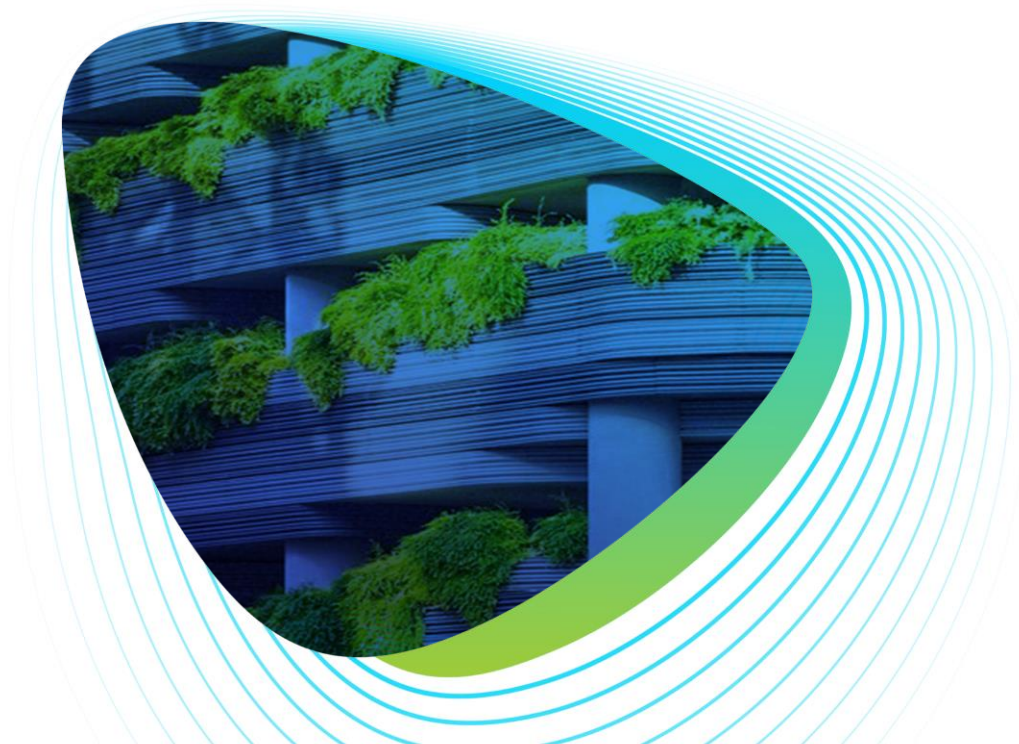
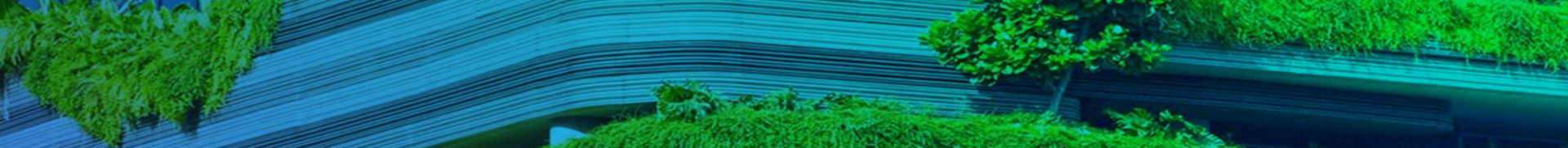
Ing. Marcel Jogl, Ph.D.

**cameb**

CENTRE FOR ADVANCED MATERIALS  
AND EFFICIENT BUILDINGS

## OBSAH PREZENTACE

- Partneři Projektu**
- Zaměření projektu**
- Výsledky projektu**
- Využití výsledků v praxi**



### **Partneři Projektu:**

- HOCHTIEF CZ a. s.
- Fakulta stavební ČVUT v Praze

### **Kontaktní osoba projektu:**

- Ing. Jan Valentin, Ph.D.

*email: [jan.valentin@hochtief.cz](mailto:jan.valentin@hochtief.cz)*

- Ing. Šárka Pešková, Ph.D.

*email: [sarka.peskova@fsv.cvut.cz](mailto:sarka.peskova@fsv.cvut.cz)*

## Zaměření projektu

Dosud se projekt zabýval identifikací a ověření ideálního složení prefabrikovaného dílce z betonového kompozitu s minimalizovaným obsahem portlandského cementu a to zejména s použitím náhrad cementu formou popílkových pojiv nebo aktivních popílkových směsných pojiv či přísad. V případě strusky se vždy jednalo o aktivní jemnozrnnou přísady, která mohla částečně nahradit množství cementu.

### Současně projekt řeší:

- Kombinaci nízkoteplotního popílku s vhodným typem strusek a vhodnou úpravu mletí, homogenizací a mechanickou aktivací.
- Možnosti využít lomové odprašky a další vedlejší produkty, který se nedaří optimálně využít.

## Výstupy projektu

### ❑ Výsledek: TN01000056/10-V4

**Název výsledku:** Prefabrikovaný prvek typu žlabovka s nízkým obsahem cementu a jeho substitucí alternativním pojivem

### ❑ Výsledek: TN01000056/10-V5

**Název výsledku:** Optimalizovaný typ betonu C30/37 využívající alternativní náhradu cementu v kombinaci s umělým kamenivem

### ❑ Výsledek: TN01000056/10-V6

**Název výsledku:** Vibrolisovaný prefabrikovaný prvek s novou recepturou maximalizující uplatnění recyklovaných materiálů a alternativního pojiva na bázi popílku a strusky, společně s minimalizací obsahu cementu

## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu

Tabulka: Použitých směsí

	REF		ST 4-8		ST 8-16		ST 4-16	
	1,00	m <sup>3</sup>	1,00	m <sup>3</sup>	1,00	m <sup>3</sup>	1,00	m <sup>3</sup>
<b>CEM 42,5 R – Mokrá</b>	363	kg	363	kg	363	kg	363	kg
<b>Vápenec Carmeuse</b>	211	kg	211	kg	211	kg	211	kg
<b>DTK 0/4 Suchdol nad Lužnicí</b>	809	kg	809	kg	809	kg	809	kg
<b>HTK 4/8 Planá na Lužnicí</b>	362	kg	0	kg	362	kg	0	kg
<b>HDK 8/16 Slapy u Tábora</b>	403	kg	403	kg	0	kg	0	kg
<b>Stachment 787</b>	4,53	kg	4,53	kg	4,53	kg	4,53	kg
<b>Stabilan 300 F</b>	0,60	kg	0,60	kg	0,60	kg	0,60	kg
<b>Voda</b>	203	l	203	l	203	l	203	l
<b>Struskové kamenivo 4-8</b>	0	kg	362	kg	0	kg	362	kg
<b>Struskové kamenivo 8-16</b>	0	kg	0	kg	403	kg	403	kg

## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu

**Složení použité betonové směsi s náhradou v podobě struskového kameniva a recyklátu**

	REF		RC+ST 4-8	
	1,00	m <sup>3</sup>	1,00	m <sup>3</sup>
CEM 42,5 R – Mokrá	363	kg	363	kg
Vápenec Carmeuse	211	kg	211	kg
DTK 0/4 Suchdol nad Lužnicí	809	kg	809	kg
HTK 4/8 Planá na Lužnicí	362	kg	0	kg
HDK 8/16 Slapy u Tábora	403	kg	0	kg
Stachement 787	4,53	kg	4,53	kg
Stabilan 300 F	0,60	kg	0,60	kg
Voda	203	kg	203	kg
Struskové kamenivo 4-8	0	l	362	l
Recyklované kamenivo 8-16	0	kg	403	kg

**Složení použitých betonových směsí se sníženým obsahem cementu**

	REF		SP+ST 8-16	
	1,00	m <sup>3</sup>	1,00	m <sup>3</sup>
CEM 42,5 R – Mokrá	363	kg	254	kg
Struska/Popílek	0	kg	109	kg
Vápenec Carmeuse	211	kg	211	kg
DTK 0/4 Suchdol nad Lužnicí	809	kg	809	kg
HTK 4/8 Planá na Lužnicí	362	kg	362	kg
HDK 8/16 Slapy u Tábora	403	kg	0	kg
Stachement 787	4,53	kg	4,53	kg
Stabilan 300 F	0,60	kg	0,60	kg
Voda	203	l	203	l
Struskové kamenivo 8-16	0	kg	403	kg

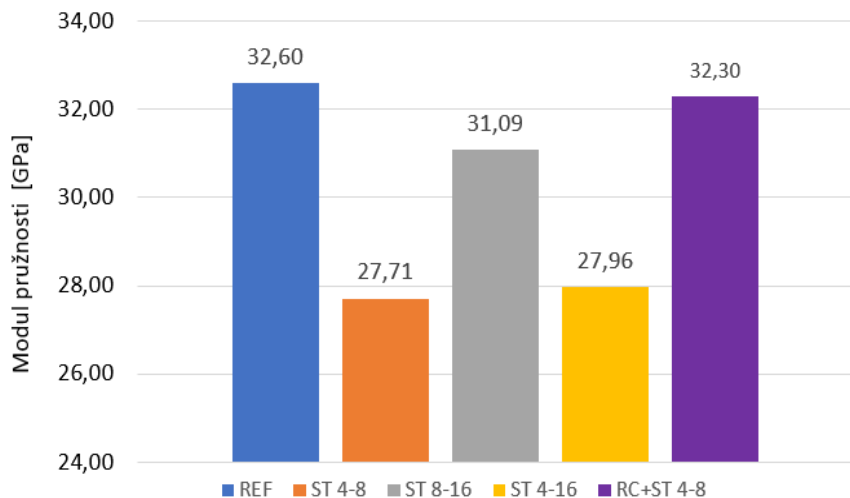
## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu

Tabulka: Rozměry funkčního vzorku – „žlabovka

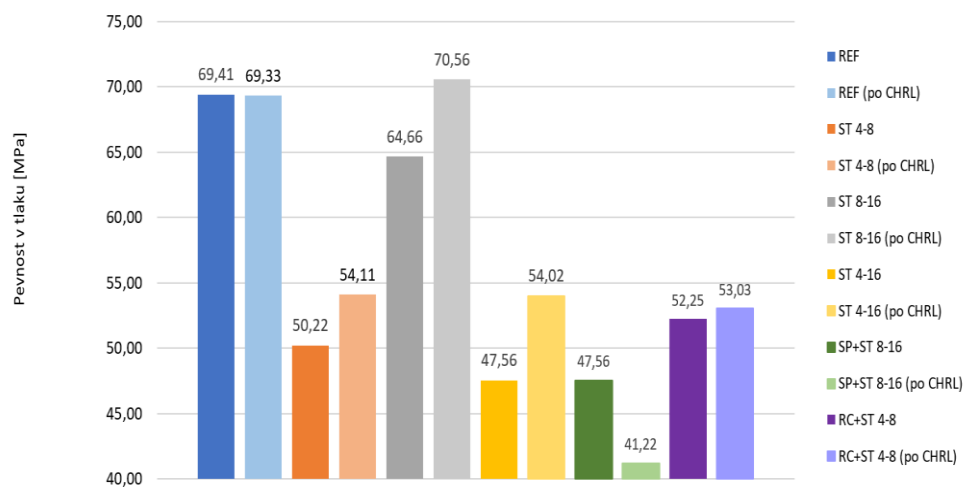
Parametr	Rozměr [mm]
Délka vzorku/žlabu	500
Šířka vzorku	160
Šířka žlabu	110
Výška vzorku	60
Výška žlabu	25



## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu

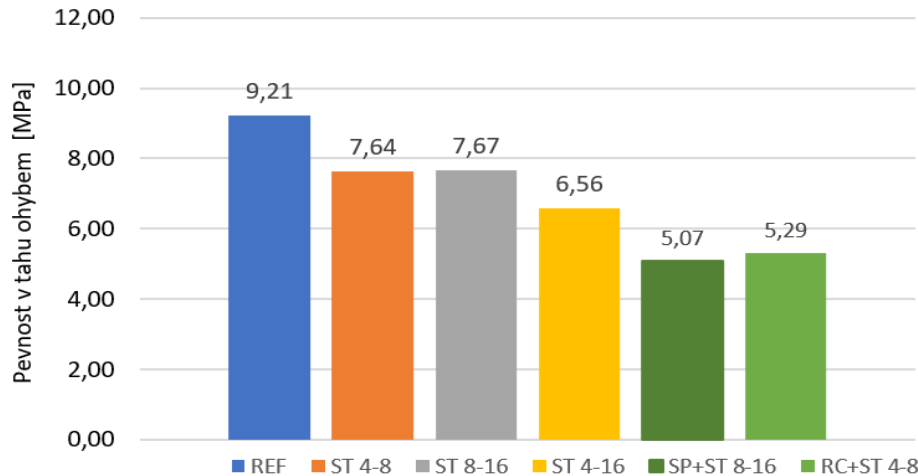


Obrázek: Porovnání modulu pružnosti betonu s náhradou v podobě struskového kameniva



Obrázek: Porovnání pevnosti v tlaku betonu s náhradou cementu a kameniva po zkoušce CHRL

## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu



Obrázek: Porovnání pevnosti v tahu ohybem betonu s náhradou cementu a kameniva

## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu



Obrázek: Uložení směsi



Obrázek: Funkční vzorky

## TN01000056/10-V4/V5 - žlabovka a optimalizovaný typ betonu



Obrázek: Zkoušky pevnosti v prostém tlaku  
(150×150×150) mm



Obrázek: Zkoušky pevnosti v příčném tahu  
(100×100×400) mm

## Technické parametry TN01000056/10-V4

Parametr	Rozměr
	[mm]
Délka vzorku/žlabu	500
Šířka vzorku	160
Šířka žlabu	110
Výška vzorku	60
Výška žlabu	25

## Technické parametry TN01000056/10-V5

- ❑ vyrobeno pět sérií samozhutnitelných betonů s náhradou frakcí běžného kameniva kamenivem struskovým dle výrobní receptury. Byla zrealizovaná náhrada cementu v podobě směsi strusky a popílku a rovněž náhradou frakce 8-16 mm recyklovaným kamenivem. Ve všech případech se jedná shodně o beton C 30/37, X0, XC1-XC4, XD1-XD2, XF1, XA1-XA2, konzistence SF2, viskozita VS1.
- ❑ První série se struskovým kamenivem frakce 4-8 mm a s objemovým zastoupením 362 kg/m<sup>3</sup> je dále označována zkratkou „ST 4-8“. Obdobně je značena i další záměs se struskovým kamenivem frakce 8-16 mm a s obsahem 403 kg/m<sup>3</sup> – zkratka „ST 8-16“.

## Technické parametry TN01000056/10-V5

- Shodně je použita i zkratka „ST 4-16“ pro záměs s náhradou běžného kameniva dvou frakcí 4-8 a 8-16 mm. Pro záměs s náhradou kameniva frakce 8-16 mm struskovým kamenivem a 30 % náhradou cementu aktivní příměsí/alternativním pojivem na bázi vysokopecní vzduchem chlazené strusky a fluidního popílku byla použita zkratka SP+ST 8-16.
- Zkratkou RC+ST 4-8 byla označena záměs s náhradou v podobě struskového kameniva frakce 4-8 mm a recyklovaného kameniva o velikosti zrn 8-16 mm.

## **Ekonomické parametry TN01000056/10-V4/V5**

Vytvořené výsledky zahrnují významné množství druhotných surovin, a tudíž vykazují výrazně nižší využití primárních zdrojů při porovnání s obdobnými komerčně dostupnými výrobky.

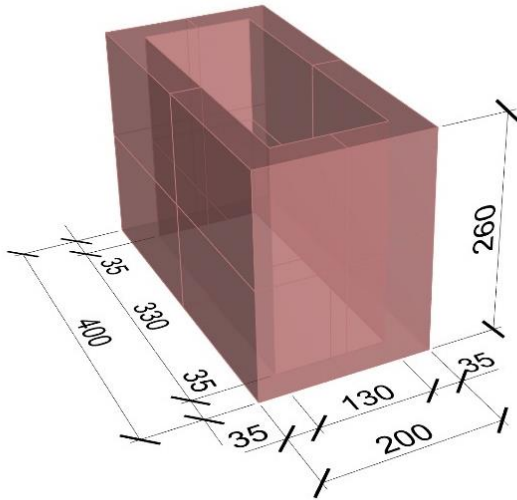
Výsledná tvarovka využívá vysoké množství struskového kameniva a alternativního pojiva, což se projevuje v její ceně, která je dle provedeného ekonomického odhadu nákladů sériové výroby o 10-15 % nižší než obdobné komerční výrobky (především, pokud se jedná např. o výrobky typu ztraceného bednění). Cena je ale odhadována dle aktuálních cen prodeje a dopravy druhotného materiálu.



## Uplatnění a využití výsledků TN01000056/10-V4/V5 v praxi

- Využití receptur pro betony s náhradou cementu alternativním pojivem na bázi popílků bylo ověřováno v rámci výrobního závodu Planá n. L.
- Využití náhrad cementu založených na struskách je v současnosti v praxi upravováno v kooperaci s partnery v regionu Praha + středních Čechy
- Aplikace hutného struskového kameniva v betonu již byla opakovaně ověřena a ekonomicky je smysluplná v regionu Praha + střední Čechy – receptury i pro konstrukční betony lze v tomto ohledu prakticky plně implementovat u partnerské betonárny

## Funkční vzorek: TN01000056/10-V6 (tvarovka)



### Složení referenční směsi

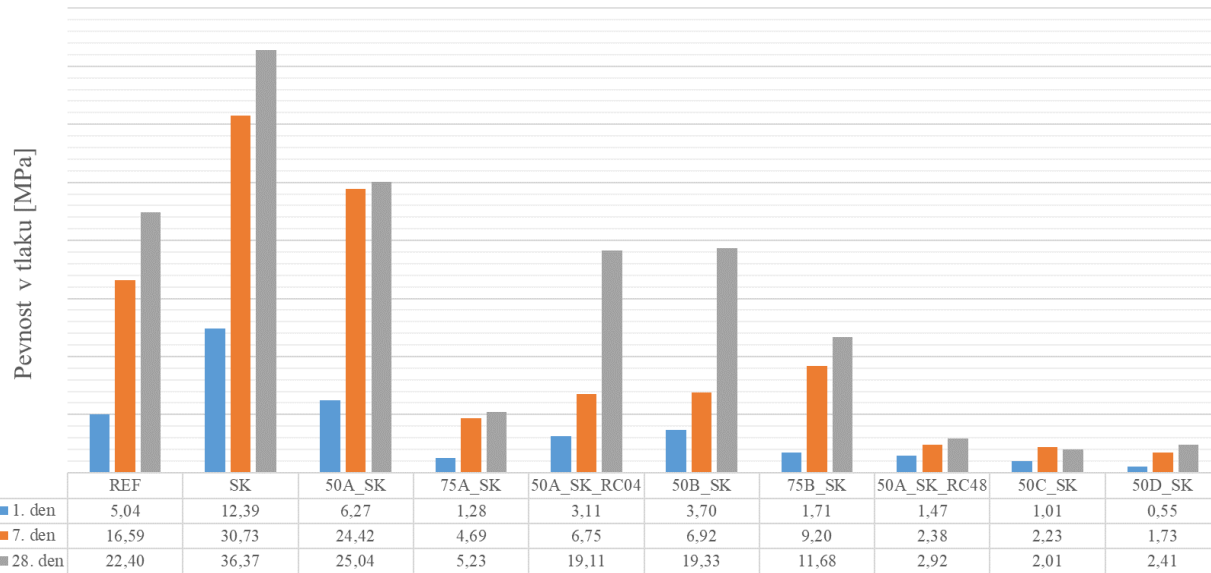
Složky	Kamenivo		CEM I 42,5 R	Voda	Plastifikátor + provzdušňovač
	frakce 0/4	frakce 4/8			
Zastoupení [%]	68	11	13	7,8	0,2

Obrázek: Tvar a rozměry funkčního vzorku – 3D model

## Pevnosti v tlaku posuzovaných variant směsi zavlhlého betonu

Ozn.	Druh směsi	Pevnost v tlaku [MPa]		
		po 1 dni	po 7 dnech	po 28 dnech
REF	100 % cementu; přírodní kamenivo frakce 0/4; přírodní kamenivo frakce 4/8	5,04	16,59	22,40
SK	100 % cementu; struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	12,39	30,73	36,37
50A_SK	50 % náhrada cementu (75 % popílku, 25 % strusky); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	6,27	24,42	25,04
75A_SK	75 % náhrada cementu (75 % popílku, 25 % strusky); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	1,28	4,69	5,23
50A_SK_RC04	50 % náhrada cementu (75 % popílku, 25 % strusky); kamenivo z betonového recyklátu frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	3,11	6,75	19,11
50B_SK	50 % náhrada cementu (50 % popílku, 50 % strusky); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	3,70	6,92	19,33
75B_SK	75 % náhrada cementu (50 % popílku, 50 % strusky); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	1,71	9,20	11,68
50A_SK_RC48	50 % náhrada cementu (75 % popílku, 25 % strusky); struskové kamenivo frakce 0/4; kamenivo z betonového recyklátu frakce 4/8	1,47	2,38	2,92
50C_SK	50 % náhrada cementu (DESTRO CEM 92:8); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	1,01	2,23	2,01
50D_SK	50 % náhrada cementu (GVS ECOCoal); struskové kamenivo frakce 0/4; struskové kamenivo frakce 4/8	0,55	1,73	2,41

## Funkční vzorek: TN01000056/10-V6 (tvarovka)



Obrázek: Porovnání hodnot krychelných pevností v tlaku

## Funkční vzorek: TN01000056/10-V6 (tvarovka)



**Obrázek: Kompletní odformování tvárnice**



**Obrázek: Příprava tvárnice pro tlakovou zkoušku**

## Technické parametry TN01000056/10-V6

- ❑ vnější rozměry funkčního vzorku 400 mm × 200 mm s vnitřní dutinou 330 mm × 130 mm a výšku 250 mm
- ❑ tvar zvolený s ohledem k možnosti vnitřní dutinu vyplňovat například vylehčeným kompozitním materiálem, přičemž by bylo možné tento tvar libovolně členit
- ❑ zvolený tvar z našeho pohledu vede z hlediska manipulace k nejlehčí možné tvarovce (při daných vnějších obvodových rozměrech)
- ❑ průměrná hmotnost funkčního vzorku byla 15-16 kg a průměrná pevnost v tlaku zjištěná ze série zatěžovacích zkoušek byla 2,56 MPa. Průměrná ohybová pevnost bočnice tvarovky dosáhla hodnoty 0,54 MPa.

## Ekonomické parametry TN01000056/10-V6

Vytvořený funkční vzorek ve tvaru tvarovky pro vnitřní výplňové zdivo zahrnuje významné množství druhotných surovin, a tudíž vykazuje výrazně nižší využití primárních zdrojů při porovnání s obdobnými komerčně dostupnými výrobky. Výsledná tvarovka využívá vysoké množství struskového kameniva a alternativního pojiva, což se projevuje v její ceně, která je dle provedeného ekonomického odhadu nákladů sériové výroby o **20 % nižší** než obdobné komerční výrobky (především, pokud se jedná např. o výrobky typu ztraceného bednění).

## Uplatnění a využití výsledků TN01000056/10-V6 v praxi

- praktické zavedení v praxi řešeno v kooperaci s dalším externím partnerem
- postupné zprovoznění výrobní linky (na straně tohoto partner) s ověřením možnosti výroby tvarovek ztraceného bednění čistě na principu struskového kameniva
- další optimalizace složení směsi betonu s minimalizací obsahu cementu, a tudíž s docílením ekonomicky výhodného výrobku



# Děkuji