

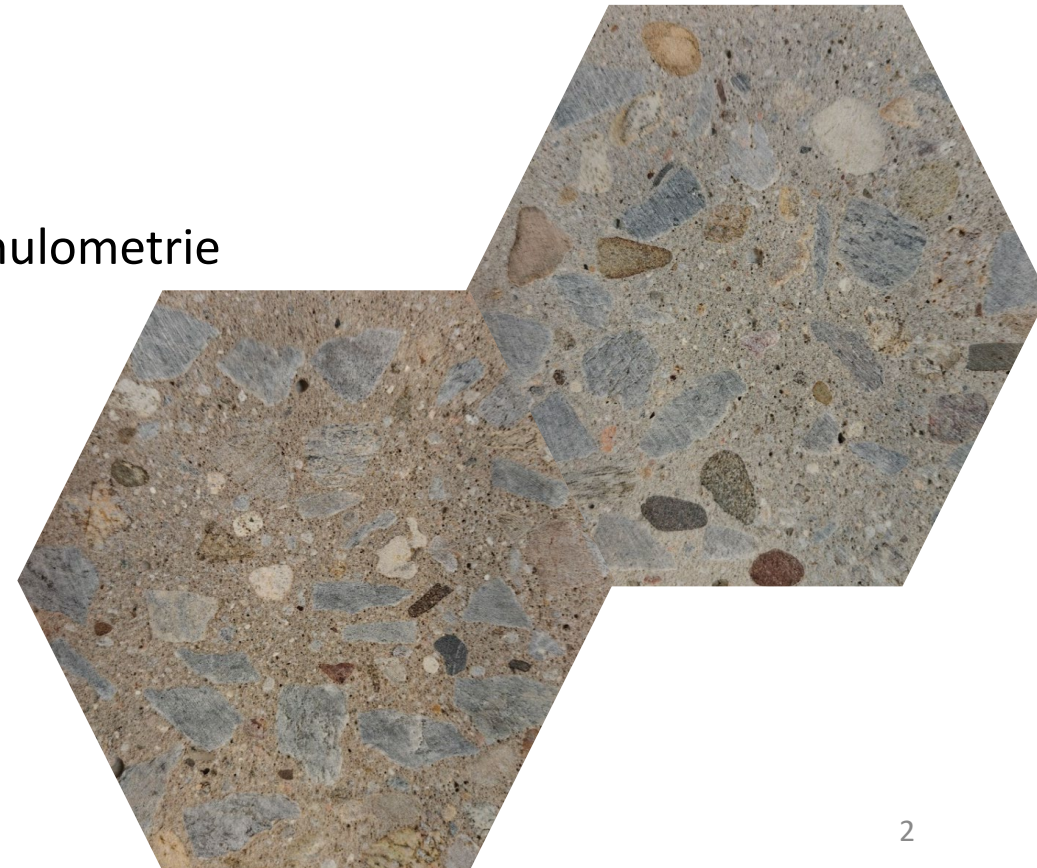
## FERROGIPS JAKO ALTERNATIVNÍ REGULÁTOR TUHNUTÍ CEMENTU

*Vysoké učení technické v Brně:  
Precheza a.s.:  
Cemex Czech Republic, s.r.o:*

*K. Dvořák, M Sedlmajer, A. Jančíková, T. Melichar  
J. Přikryl  
M. Walter*

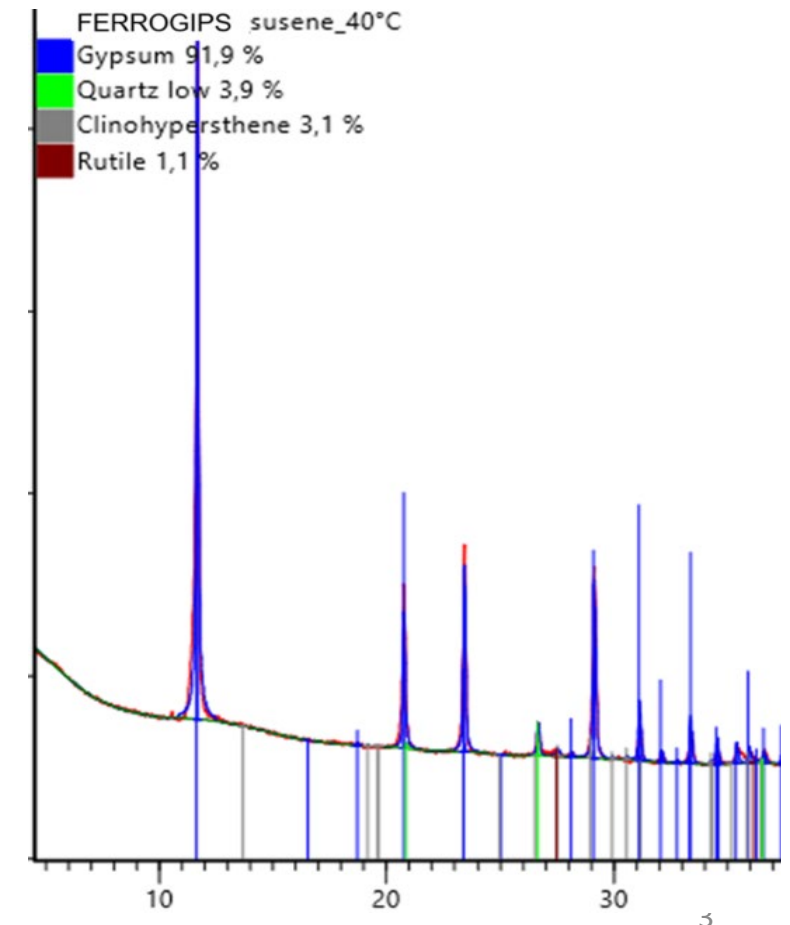


- Hlavním cílem studie bylo komplexní posouzení a ověření vhodnosti materiálu FERROGIPS jako alternativního regulátoru tuhnutí cementu
- Identifikace materiálu - FERROGIPS
- ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu
  - Mineralogické a chemické analýzy
  - Fyzikální parametry: Měrná hmotnost, měrný povrch a granulometrie
  - Tuhnutí, hydratace a analýza hydratačních produktů
  - Barevnost a UV stabilita
- ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)
  - Zkoušky čerstvého betonu
  - Mechanické vlastnosti
  - Mrazuvzdornost a CHRL
  - Hloubka průsaku
  - Odolnost proti agresivnímu prostředí



# Identifikace materiálu - FERROGIPS

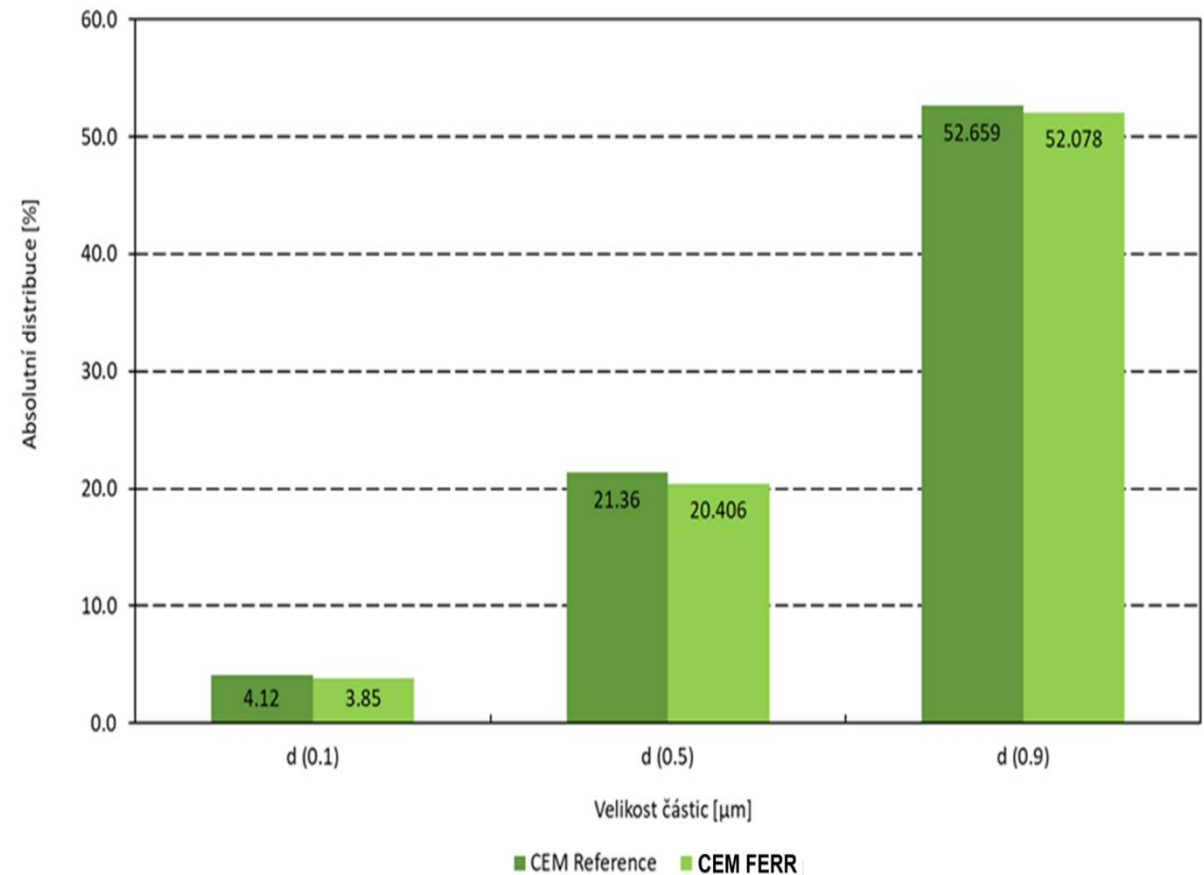
- **Materiálová podstata**
- Hydratovaný síran vápenatý  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 70 – 80 % v sušině
- Oxidy železa: do 19 % většinou amorfnní povahy v sušině
- Minoritní obsah doprovodných látek
  
- **Fyzikální vlastnosti**
- Polosuchá konzistence – drolenka cca 30-50 mm
- Vlhkost do 30 %
- Barevnost: po oxidaci okrově rezavý odstín
  
- **Bezpečnost**
- Neagresivní, nehořlavý, netoxický a neradioaktivní
- Zdravotně nezávadný



# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Srovnání provedeno s referenčním cementem
- Cementy CEM I 42,5 R vyrobeny průmyslově (Cemex Czech Republic, s.r.o)
- Referenční regulátor: Energosádovec

	Měrná hmotnost [g/cm <sup>3</sup> ]	Měrný povrch [cm <sup>2</sup> /g]
CEM REF	3,133	2 820
CEM FER	3,109	3 090

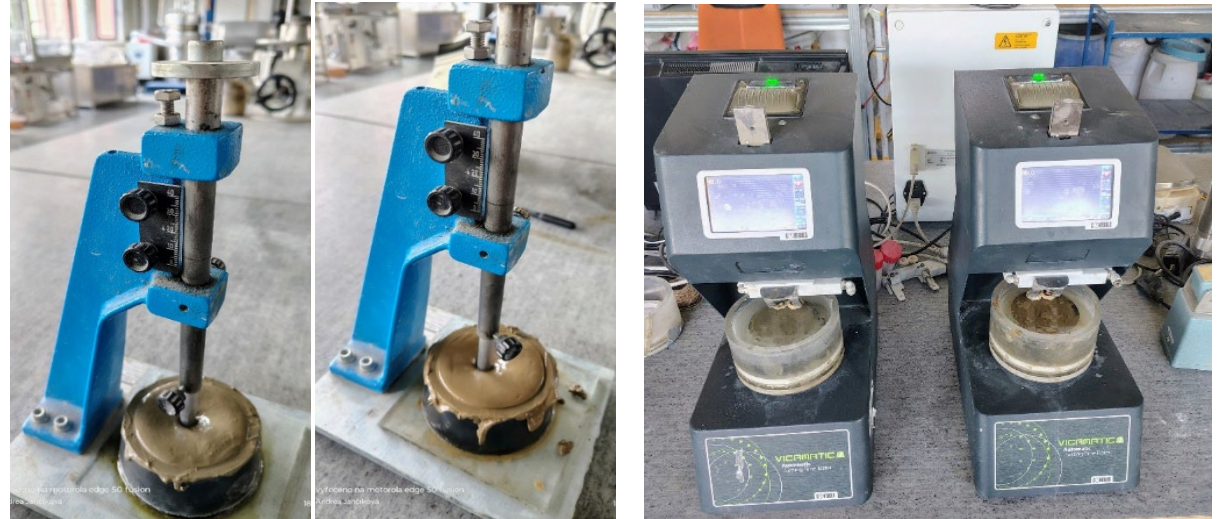


# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Konzistence a tuhnutí
- Vodní součinitel v podstatě stejný
- Počátek a doba delší o cca 1 hodinu

	Označení	Vodní součinitel	Rozlití [mm]
1	CEM REF	0,31	170
2	CEM FER	0,35	174

	Označení	Počátek doby tuhnutí	Konec doby tuhnutí
1	CEM REF	3 hod. 45 min.	6 hod.
2	CEM FER	4 hod. 55 min.	6 hod. 55 min.



# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Změna barevnosti
- ČSN EN ISO 4892-2 a ČSN EN ISO 16474-2 (expozice)
- ČSN EN ISO/CIE 11664-4 a -6 Kolorimetrie
  - Měří se barevnost
  - Expozice v UV - Intenzita záření  $60 \pm 2 \text{ W/m}^2$
  - Střídání Teplo ( $38 \text{ }^\circ\text{C}$ ), vlhko (50 %) a ostřik vodou
  - Celkem 168 cyklů – 14 dní

Hodnota  $\Delta E_{\text{CMC}}$ , udává rozdíl mezi zkušebním a referenčním vzorkem ve stejném barevném prostoru

$\Delta E$	Vnímaný rozdíl	$\Delta E$	Vnímaný rozdíl
0,0–0,2	nepostřehnutelný	–	–
0,2–0,5	velmi slabý	0,2–1,0	postřehnutelný
0,5–1,5	slabý	1,0–2,0	rozeznatelný
1,5–3,0	jasně postřehnutelný	2,0–4,0	ještě nerušící
3,0–6,0	střední	4,0–8,0	mírně rušící
6,0–12,0	výrazný	–	–
12,0–16,0	velmi výrazný	–	–
> 16,0	rušící	–	–

# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Změna barevnosti
- Vlivem oxidů železa
  - tmavší šedohnědý odstín
- Středně vnímaný, mírně rušivý rozdíl při přímém srovnání
- Samostatně nepůsobí rušivě
- Vyšší UV stabilita než reference po cyklech

Vzorek	L	a	b	$\Delta E_{cmc}$
CEM REF	72,27	0,58	5,40	---
CEM FER	64,98	2,75	9,28	5,23



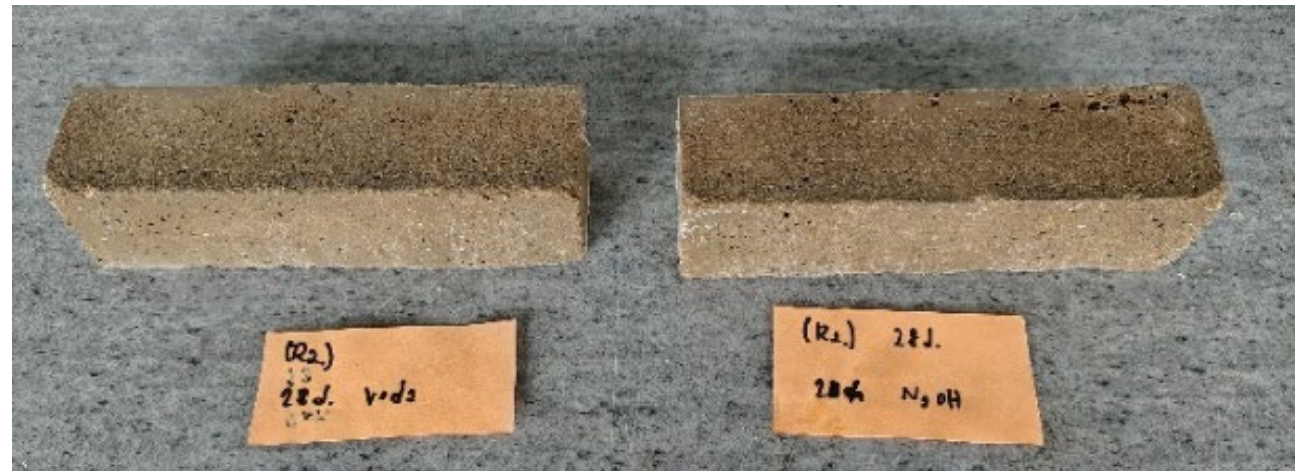
# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Výkvětuvornost
- Zrychlená metoda
  - Destilovaná voda
  - Roztok 20 % NaOH
- Bez výkvětů
- Objemově stálé
- Bez porušení výkvěty



CEM REF – voda

CEM REF - NaOH



CEM FER – voda

CEM FER - NaOH

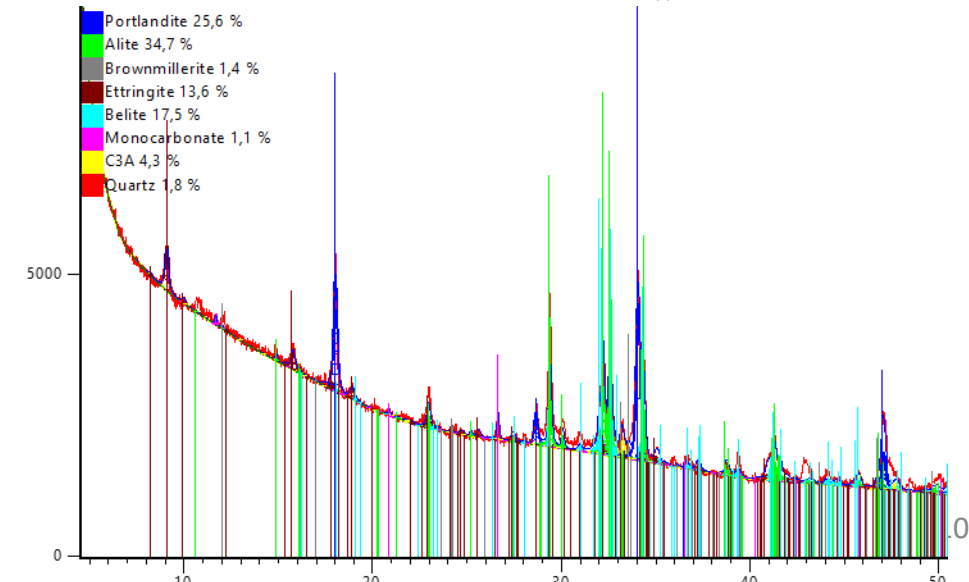
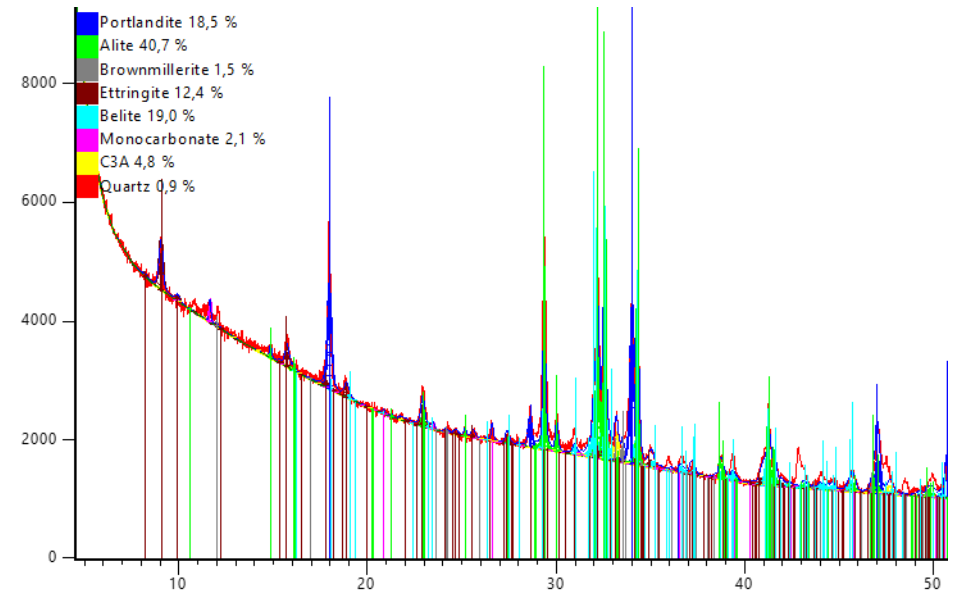
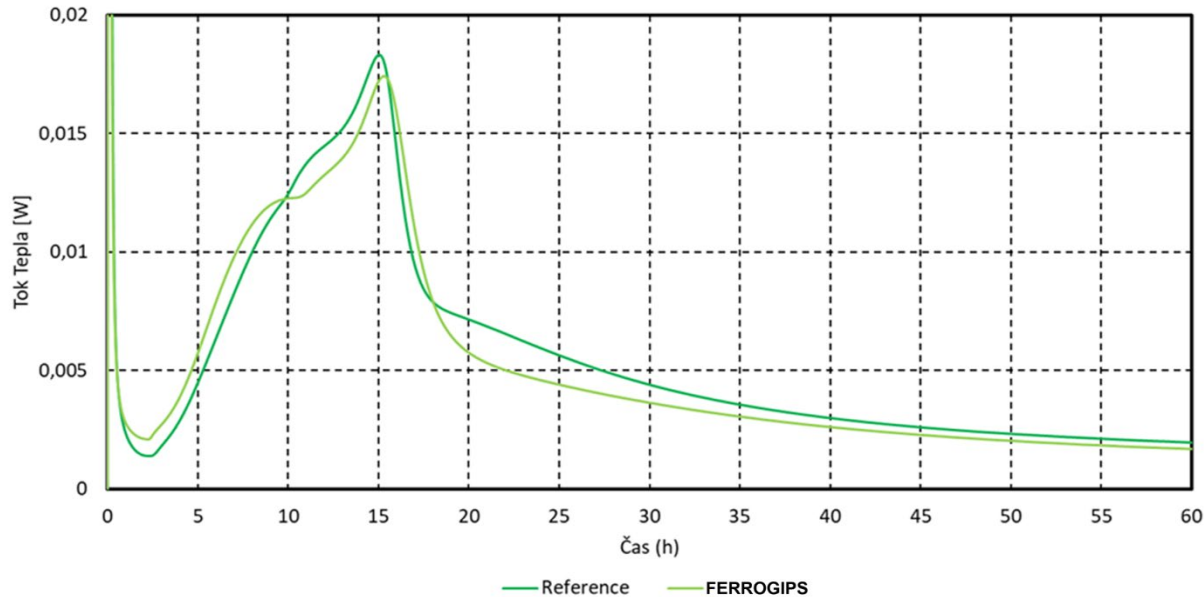
# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Fyzikálně mechanické vlastnosti

	Pevnost v tlaku [MPa]			
	Po 2 dnech	Po 7 dnech	Po 14 dnech	Po 28 dnech
CEM REF	35,8	42,3	50,5	<b>50,6</b>
CEM FER	36,1	47,2	48,9	<b>48,6</b>
	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]			
	Po 2 dnech	Po 7 dnech	Po 14 dnech	Po 28 dnech
CEM REF	3,1	3,3	3,7	<b>3,8</b>
CEM FER	4,0	4,1	4,0	<b>3,9</b>

# ETAPA I: Vliv na vlastnosti cementu

- Hydratační proces
- XRD, TG DTA, kalorimetrie
  - Podobný průběh hydratace
  - Množství portlanditu podobné (lehce vyšší u FER)
  - Množství Ettringitu REF 12 % × FER 14 %



# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Složení betonu
- Třída betonu C 30/37 XF4
- Vodní součinitel 0,44

Složka	Popis složky	Množství [kg]
Cement	CEM I 42,5 R, Prachovice	380
Voda		166
Kamenivo (přírodní, drobné, těžené)	PDTK 0/4, Zaječí	770
Kamenivo (přírodní, hrubé, těžené)	PHTK 8/16, Zaječí	510
Kamenivo (přírodní, hrubé, drcené)	PHDK 11/22, Rosice	385
Plastifikační přísada	Isoflex 833	2,7
Provzdušňující přísada	Isosphere 5032	0,18

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

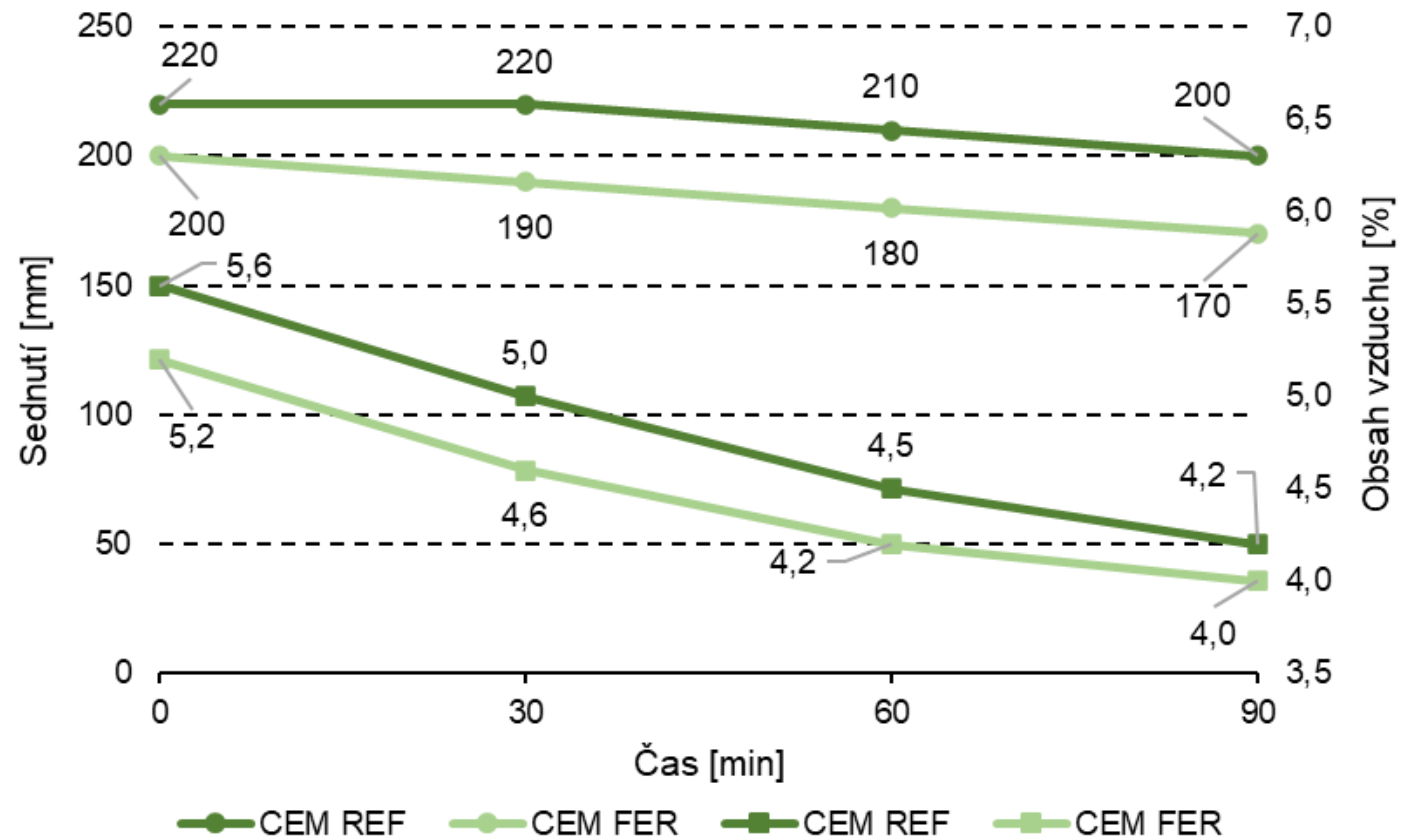
- Konzistence a obsah vzduchu

- Sednutí kužele ČSN EN 12350-2

- S4
- REF 220 mm × FER 200 mm

- Obsah vzduchu ČSN EN 12350-7

- v čase 90 minut po 30 minutách
- REF 5,6 % × FER 5,2 %
- Oba betony splnily XF4



# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Vizuální srovnání



REF



FER

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Pevnost v tlaku a vizuální srovnání
- ČSN EN 12390-3
- Třída C 30/37 splněna
- Ve sledované době **není rozdíl**

Označení vzorků	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]			Pevnost v tlaku [MPa]		
	7 dní	<b>28 dní</b>	90 dní	7 dní	<b>28 dní</b>	90 dní
CEM REF	2 250	<b>2 270</b>	2 280	38,0	<b>48,2</b>	53,4
CEM FER	2 240	<b>2 270</b>	2 280	34,2	<b>45,4</b>	51,0



REF

FER

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

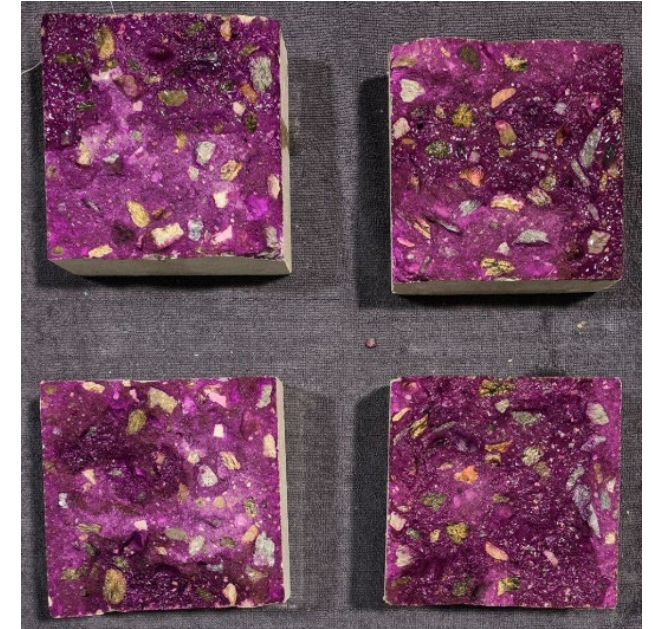
- Mrazuvzdornost
- ČSN 73 1322 (T100)
- Součinitel mrazuvzdornosti > 75 %
- **Není významný rozdíl (FER lepší)**

Parametr	CEM REF	CEM FER
Úbytek hmotnosti [%]	0,52	0,41
Součinitel mrazuvzdornosti	<b>0,91</b>	<b>0,99</b>

Označení vzorků	Pevnost v tahu ohybem Srovnávací tělesa, po 28 dnech [MPa]	Pevnost v tahu za ohybem Srovnávací tělesa, po 100 cyklech [MPa]
CEM REF	4,72	4,3
CEM FER	4,73	4,7

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Odolnost proti  $\text{SO}_2$ , vlhkosti a teplotě
- ČSN EN ISO 22479
- Objemová hmotnost, inkrustace, trhliny, pevnost v ohybu
- Hloubka degradace – fenolftalien test
- Mineralogické složení – bez změn - identické



Označení vzorků	Pevnost v tlaku před vystavení koroznímu prostředí [MPa]	Pevnost v tlaku po cyklech v koroznímu prostředí $\text{SO}_2$ [MPa]
CEM REF	53,4	50,2
CEM FER	51,0	49,5

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Nasákavost a hloubka průsaku tlakovou vodou

- ČSN 73 1316

- Srovnatelné hodnoty
- REF 5,9 % × FER 6,2 %

- ČSN EN 12390-8

- Srovnatelné hodnoty

	Maximální hloubka průsaku [mm]	Průsak do boku
CEM REF	10	NE
CEM FER	12	NE



REF

REF



FER

FER

# ETAPA II: Vlastnosti betonu (dle ČSN EN 206)

- Odolnost proti CHRL
- ČSN 73 1326 100 cyklů metoda A
- Požadavek  $< 1000 \text{ g/m}^2$
- Oba betony splnily kritérium s rezervou

REF



FER



	CEM REF				CEM FER			
	Počet cyklů				Počet cyklů			
	25	50	75	100	25	50	75	100
Odpad v [g] po cyklech	2,9	3,2	4,3	4,1	2,29	2,08	2,98	1,74
Odpad v [g/m <sup>2</sup> ] po cyklech	113,2	123,9	169,2	160,8	52,3	56,0	101,2	63,3
Odpad v [g/m <sup>2</sup> ] načítaný	113	237	406	<b>567</b>	52	108	210	<b>273</b>

- **FERROGIPS je plně kompatibilním s portlandským slínkem**
  - Posun počátku i konce tuhnutí je technologicky zvládnutelný
  - Hydratační proces probíhá běžným způsobem
  - Nemá negativní vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti
- **Odolnost a trvanlivost je srovnatelná**
- **Vliv na barevnost**
  - V přímém srovnání s referencí mírně odlišný odstín
  - Samostatně **nerušivý**
- **FERROGIPS je vhodnou alternativou k běžným regulátorům**



**STAVEBNĚ  
MATERIÁLOVÉ  
INŽENÝRSTVÍ**  
obor "M"

Děkuji Vám za pozornost

