

ODOLNOST SMĚSÍ Z ČESKÝCH VYSOKOTEPLNÍCH POPÍLKŮ VŮČI STŘÍDAVÉMU ZMRAZOVÁNÍ A ROZTÁVÁNÍ

Pulcová K.¹, Šídlová M.¹, Rak P.¹, Šulc R.², Formáček P.^{2,3}

¹Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta chemické technologie, Ústav skla a keramiky, Technická 5, 166 28 Praha, Česká republika

²České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb, Thákurova 7, 166 29 Praha, Česká republika

³ČEZ Energetické produkty, s.r.o., Komenského 534, 253 01 Hostivice, Česká republika



Úvod

Vysokoteplotní hnědouhelné popílků z českých elektráren a tepláren patří mezi cenné druhotné suroviny používané ve stavebnictví. Jejich použitím jako příměsí do cementů se snižuje spotřeba primárních surovin a množství emisí CO₂ vznikajících při výrobě nového cementářského slínku. Tím se využití těchto popílků stává jak ekonomicky, tak ekologicky přínosným.

Cíl práce

- Charakterizovat různé vysokoteplotní popílků z elektráren Počerady, Tušimice, Pruněřov a teplárny Dvůr Králové pomocí XRD, XRF a granulometrie (PSD).
- Navrhnout složení směsných kaší pro zkoušení odolnosti vůči střídavému zmrazování a roztávání (FT).
- Určit vhodné provzdušnění kaší pomocí tlakoměrné zkoušky.
- Připravit tělesa a podrobit je FT v prostředí vody a 3 % NaCl.
- Posoudit odolnost povrchů těles (množství odpadu) a ověřit využitelnost popílků odlišného původu jako příměsí do cementu.

Příprava a zkoušky

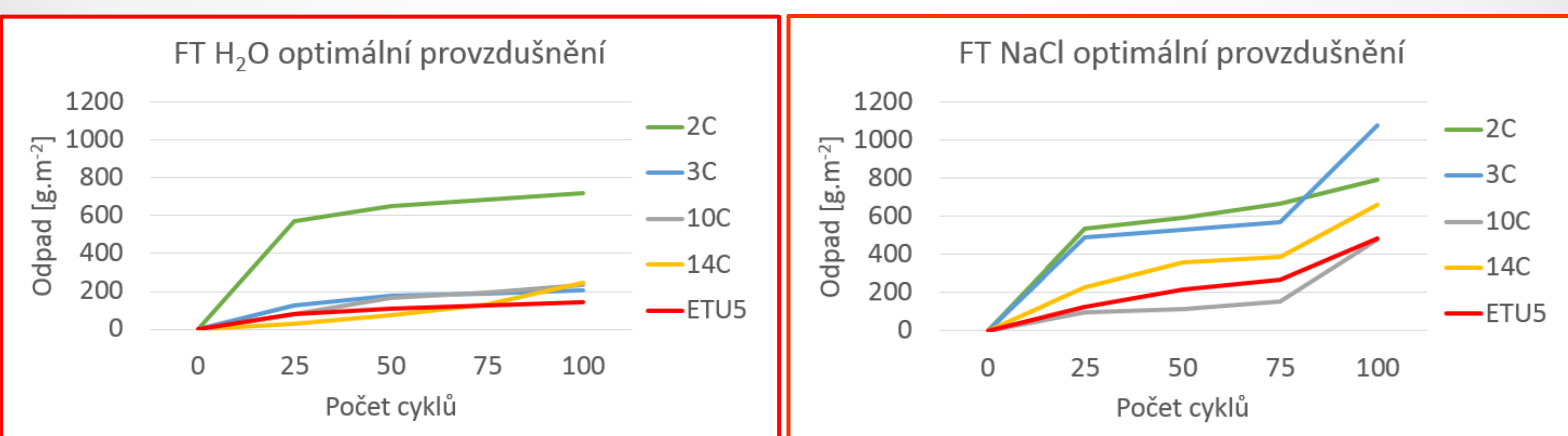
Byla připravena řada kaší obsahující 75 % cementu a 25 % popílků z elektráren Počerady (2C, 3C), Pruněřov (10C), Tušimice (ETU) a teplárny Dvůr Králové (14C). Navíc byly připraveny kaše z popílků ETU s obsahem 15 % a 35 %. Všechny směsi byly umíchány s ohledem na optimální množství provzdušnění 4-7 % pomocí tlakoměrné metody ČSN EN 12350-7. Dále byly připraveny dvě směsi ETU s provzdušněním 2 % a 9 %.

Tabulka 1. Složení připravovaných kaší z cementu a vysokoteplotního popílků, w – vodní součinitel

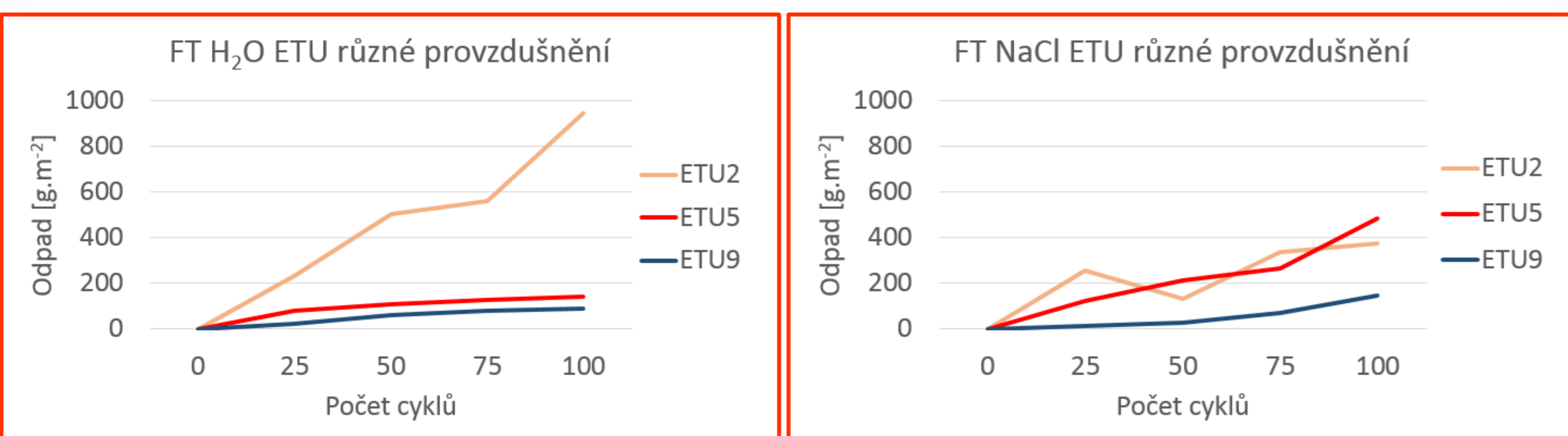
KAŠE	Cement [g]	Popílek [g]	w	Provzdušnění [%]
2C	1500	500	0,32	4,8
3C	1500	500	0,29	4,1
10C	1500	500	0,30	6,1
14C	1500	500	0,35	4,6
ETU2	1500	500	0,28	1,9
ETU5	1500	500	0,28	4,7
ETU9	1500	500	0,28	9,3
ETU15%	1700	300	0,28	6,0
ETU35%	1300	700	0,28	6,5

Po 28 dnech ve vlhku byly směsi podrobeny zkoušce FT v prostředí H₂O a 3 % NaCl. Byla zkoumána odolnost jejich povrchu ve smyslu normy ČSN 73 1326, ZMĚNA Z1. Automatické cyklování (metoda C) probíhalo v klimakomoře Memmert CTC256 za střídání teplot +5°C a -18°C s dobou výdrže 3 hodiny.

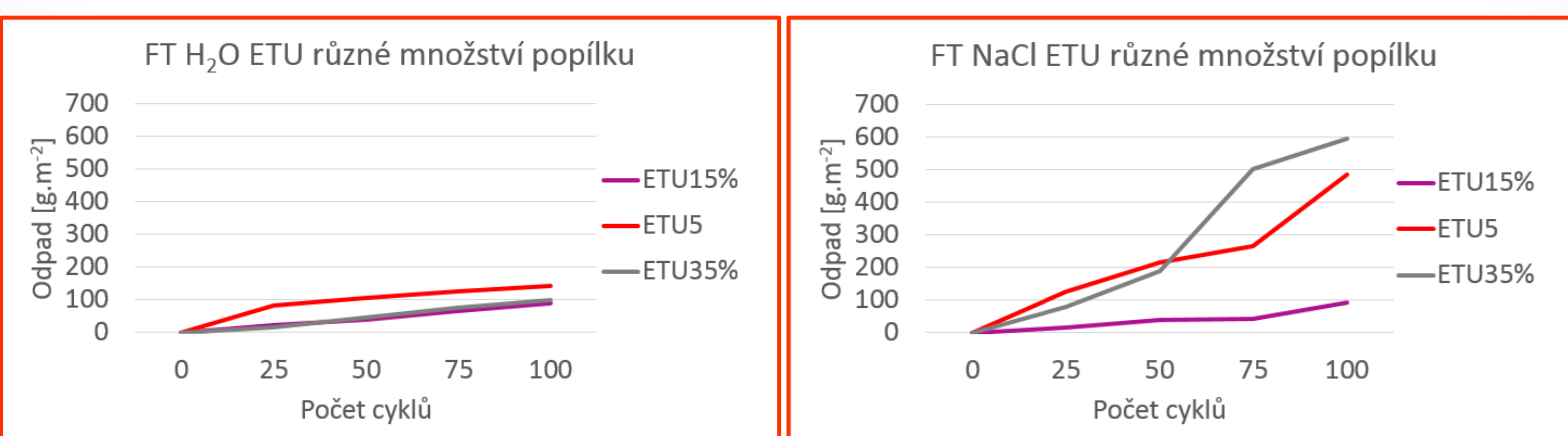
Výsledky FT



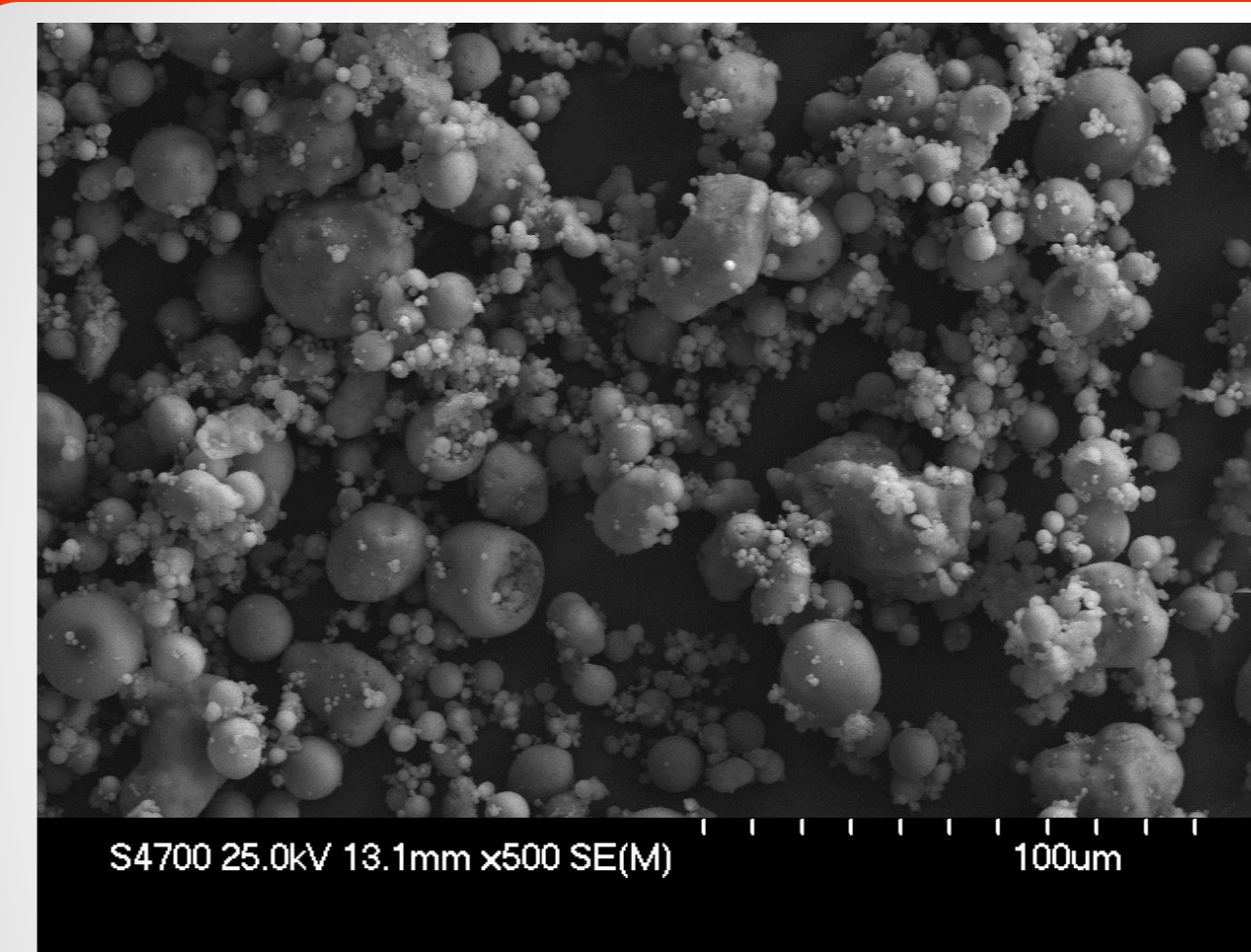
Obrázek 3. Množství odpadu po FT v H₂O a NaCl pro optimálně provzdušněné kaše s 25 % obs. popílků



Obrázek 4. Množství odpadu po FT v H₂O a NaCl pro různě provzdušněné kaše (2, 5, 9 %) s 25 % obs. ETU



Obrázek 5. Množství odpadu po FT v H₂O a NaCl pro kaše s různým obs. ETU (15, 25 a 35 %)



Obrázek 1. Vysokoteplotní popílek, snímek SEM, zvětšeno 500x

Vysokoteplotní popílků

Teplota vzniku (°C)	1100-1600
Hlavní krystalické fáze	3 Al ₂ O ₃ ·2 SiO ₂ , SiO ₂
Příklady využití ve stavebnictví	beton, směsný cement, pórobeton, komunikace
Vyprodukované množství v ČR v tunách v roce 2017	7 322 239

Charakterizace popílků

Tabulka 2. Kvantitativní fázové složení popílků (%), XRD analýza, Rietveldova metoda (chyba Rw<5 %)

XRD	amorfní fáze	křemen	mullit	magnetit	hematit	anhydrit	akermanit	sádrovec	ostatní
2C	52,9	15,3	30,6	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2
3C	50,4	13,9	34,8	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
10C	64,5	5,6	26,1	0,5	0,6	0,0	0,0	2,2	0,5
14C	73,5	9,6	5,7	1,2	1,5	5,5	2,7	0,0	0,3
ETU	53,5	8,9	34,6	1,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,7

Tabulka 3. Oxidické složení popílků (%), XRF analýza

XRF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	ostatní
2C	53,8	33,9	1,6	2,0	0,5	4,8	1,6	1,0	0,9
3C	54,9	33,2	1,6	2,3	0,2	4,2	1,6	1,1	0,9
10C	48,6	32,2	3,4	1,7	1,7	8,4	1,4	1,4	1,3
14C	32,8	27,0	11,4	1,2	9,5	10,8	1,8	2,5	3,0
ETU	49,8	33,9	1,8	1,7	0,6	8,9	1,2	1,0	1,2

Tabulka 4. Laserová analýza rozdělení velikosti částic (μm)

PSD	D10	D50	D90
2C	4,3	41,5	138,9
3C	3,8	36,3	142,7
10C	6,6	52,7	171,9
14C	6,0	37,2	106,5
ETU	1,7	12,2	66,5



Obrázek 2. Fotografie těles po 50 FT cyklech spolu s odpadem po cyklování

Použité přístroje

- XRD Práškový difraktometr X'Pert³ Powder
- XRF Spektrometr ARL 9400 XP
- PSD Betsizer ST, Laser Particle Size Analyzer

Tabulka 5. Stupeň narušení těles po FT (převzato z normy ČSN 73 1326, ZMĚNA Z1)

Stupeň porušení	[g.m ⁻²]	Charakter odpadu
Nenarušený	Do 50	Velmi jemné prachovité částice do 1mm
Slabě narušený	Do 500	Jako u stupně 1, větší množství částic do 1 mm, podíl částic do 2 mm menší než 50 % hmotnosti odpadu
Narušený	Do 1000	Jako u stupně 2, podíl částic nad 2 mm přes 500 g.m ⁻²
Silně narušený	Do 3000	Jako u stupně 2, podíl částic nad 2 mm přes 500 g.m ⁻²
Rozpadlý	Přes 3000	Jako u stupně 4, podíl částic nad 4 mm více jak 20 % hmotnosti odpadu

Závěr

- Je patrné, že jednotlivé popílků vykazují různou odolnost vůči FT.
- S rostoucím počtem FT cyklů roste množství odpadu a odolnost klesá.
- Bylo potvrzeno, že kaše obsahující popílek odolávají FT lépe v prostředí H₂O než NaCl.
- Vyšší provzdušnění kaší způsobilo jejich vyšší odolnost vůči FT. V prostředí NaCl nejlépe odolávala kaše nejvíce provzdušněná (ETU9).
- S rostoucí náhradou popílků (ETU) za cement klesala odolnost směsí jak v prostředí H₂O, tak v prostředí NaCl.

Literatura

- Page, C. L.; Page, M. M. *Durability of concrete and cement composites*, 1st ed.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge England, 2007.
- ČSN 73 1326 ZMĚNA Z1. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 24 p.

Poděkování

Tato práce byla finančně podpořena Českou technologickou agenturou v programu TREND FW01010195 – „Pokročilé výrobní technologie pro strategické využití a skladování vedlejších energetických produktů (VEP)“ a společností ČEZ Energetické Produkty, s.r.o.