

## **Vyzdívky spaloven průmyslových a komunálních odpadů**

Rybák L., Pešek J., Korsa B., Fajfr P. - ŽÁROHMOTY, spol. s r.o., Třemošná  
Kučera Z. - LAFARGE ŽÁROMONOLITY, s.r.o., Ostrava

### **1. Úvod**

Jedním z negativních projevů lidského života a hospodářské činnosti je produkce odpadů. Mezi odpady se často vyskytují takové látky, které příroda nezná a jen těžko si s nimi sama může poradit, představují proto potencionální hrozbu pro celé ekosystémy. Než bude možné na odpady pohlížet jako na důležité zdroje surovin a energií, bude nutné minimalizovat jejich množství a negativní působení na životní prostředí. Ani ve vyspělejších státech se zatím dosud nepodařilo zamezit nárůstu množství odpadů i přes řadu přijímaných priorit. Při současné úrovni vědy a techniky zatím nelze nárůst odpadů eliminovat, a proto je třeba hledat environmentálně a ekonomicky nejlepší způsoby nakládání s odpady, přičemž spalování je jedním ze způsobů jejich odstraňování.

Spalováním odpadů se výrazně snižuje jejich hmotnost ( až o 70 % ) a objem ( až o 90 % ), ale spalovny nejsou zázračné stroje na likvidaci odpadů, když se odpad spálí, nezmizí, neboť zákon zachování hmoty stále platí. Likvidace spalitelných odpadů musí probíhat v moderních spalovnách, které jsou vybaveny speciálními agregáty na spalování a dokonalým, nejlépe třístupňovým čištěním spalin, včetně katalytických filtrů, neboť degradací organických látek vznikají látky jiné, které jsou mnohdy nebezpečnější než původní odpad.

Při spalování odpadů je žárovzdorná vyzdívka vystavena působení různých vlivů, které můžeme rozdělit na termické, mechanické a chemické. Intenzita působení těchto faktorů ovlivňuje vedle ekonomických hledisek výběr vhodných žárovzdorných materiálů pro vyzdívky spalovacích pecí. Běžně se používají:

- klasická a vysocehlinitá šamotová staviva a konvenční žárobetony pro pece s nižší provozní teplotou a zatížením
- korundové materiály, obohacené oxidem chromitým pro nejnáročnější podmínky spalovacích komor roštových pecí a zvláště pak pecí rotačních

Změny technologických postupů spalování v posledních letech ovlivněné skladbou odpadů vedly ke zhoršení provozních podmínek žárovzdorných vyzdívek, což vyvolalo potřebu použití speciálních materiálů na bázi SiC s vysokou odolností proti změnám teploty a proti korozi do teplot 1000°C. Pro vyzdívky namáhané vysokou teplotou v oxidační atmosféře se uplatnily materiály na bázi  $Al_2O_3 - Cr_2O_3$ , které jsou však z ekologických důvodů postupně nahrazovány materiály na bázi  $MgO - Al_2O_3$  s vyšší odolností vůči korozi taveninou strusky.

### **2. Rotační pece na spalování odpadů**

#### **2.1. Provozní režim pecí**

Spalovna provozuje dvě stejné rotační pece, které byly projektovány a dodány zahraniční firmou. Původním záměrem dodavatele bylo provozovat rotační pece v pyrolýzním režimu, při teplotách na vstupu do 650°C a na výstupu do 900°C. Spálené odpady měly mít povahu pevné fáze (popel, škvára). Během zkušebního provozu však nastaly problémy s nalepováním odpadů na povrch žárovzdorné vyzdívky a navíc odpady vycházející z rotačních pecí nebyly dostatečně prohořelé, což působilo problémy při další likvidaci.

Z důvodů odstranění nalepených odpadů byly pece střídavě provozovány v pyrolýzním a oxidačním režimu, přičemž při provozu v oxidačním režimu došlo k výraznému nárůstu pracovních teplot, což vedlo k tvorbě tekuté strusky. Vzhledem ke skladbě zavážených odpadů bylo rozhodnuto o trvalém provozování pecí v oxidačním režimu při vyšších provozních teplotách. V důsledku toho vzniká a trvale se udržuje v pecích velmi agresivní tekutá struska, která způsobuje silnou korozi a tím opotřebení žárovzdorné pracovní vyzdívky. V souvislosti se změněným provozním režimem a jeho dopady na žárovzdorné vyzdívky bylo nutné vyřešit její konstrukční a materiálové uspořádání.

## 2.2. Technické parametry pecí

Délka pece : 12 m  
Průměr pece : vstup 2 m,  
výstup 1,6 m.  
Provozní teploty : vstupní část: 650 – 1150°C  
spalovací prostor: 1150 – 1400°C  
výstup: 900 – 1250°C  
Teplota spalin : max. 200 °C  
Spalované odpady : papír, plasty, dřevo, nemocniční odpad, odpadní oleje, tuky, kontaminovaná  
zemina, smoly, kaly z čistírny odpadních vod  
Rychlost otáčení : 1 otáčka za 3 – 5,5 min  
Palivo : zemní plyn  
Teplota ocelového pláště pece : do 200°C  
Kapacita : cca 14 400 t odpadů/rok

## 2.3. Žárovzdorné vyzdívky pecí

Ve spalovně bylo provozně ověřeno několik různých žárobetonů v pracovních vyzdívkách rotačních pecí. Původní žárovzdorné vyzdívky z nízkocementových žárobetonů na bázi vysocejakostního páleného kameniva s vysokou odolností proti abrazi vykázaly velmi dobré provozní výsledky, přestože byly navrženy pro jiný provozní režim pecí. Naopak běžný žárobeton na bázi šamotu a bauxitu se středním obsahem CaO a se zvýšeným obsahem Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se ukázal jako zcela nevhodný. Následné provozní zkoušky nízkocementového žárobetonu na bázi tabulárního korundu a spinelu, žárobetonu se středním obsahem cementu s obsahem 30% SiC nebo žárobetonu s velmi nízkým obsahem cementu s obsahem 3% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nedosáhly přesvědčivých a požadovaných výsledků.

## 2.4. Řešení žárovzdorných vyzdívek

Vzhledem k neuspokojivým výsledkům byl s provozovatelem pecí dohodnut postup řešení žárovzdorných vyzdívek, který spočíval v :

- definování namáhání jednotlivých částí žárovzdorných vyzdívek, které mají dominantní vliv na jejich opotřebení
- laboratorním testování vybraných žárovzdorných materiálů
- vyhodnocení laboratorních zkoušek a provozním ověření vybraných materiálů ve vyzdívkách rotačních pecí

## 3. Experimentální část

### 3.1. Analýza strusky

Na základě analýzy namáhání žárovzdorných vyzdívek se ukázala koroze struskou rozhodující pro jejich opotřebení a výdržnost. Proto bylo rozhodnuto o stanovení jejího složení a podrobnější analýze koroze žárovzdorných materiálů struskou. Nutno podotknout, že chemické složení strusky se může měnit v závislosti na druhu spalovaného odpadu.. Tabulka č.1 ukazuje chemické složení strusky, odebrané pro laboratorní zkoušky.

Tab. č. 1 Chemické složení odebrané odpadní strusky ( % hmot.)

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Ostatní
14	48	13	1	14	3	5	2

### 3.2. Žárobetony typu LC a ULC

Pro první fázi laboratorních zkoušek byly vybrány běžně vyráběné druhy žárobetonů s nízkým a velmi nízkým obsahem cementu na bázi různých druhů kameniv. Tabulka č. 2 ukazuje jejich základní chemické a fyzikální parametry.

Tab.č. 2 Chemické a fyzikální vlastnosti standardních žárobetonů LCC a ULCC

Parametr/vzorek	Rozměr	A	B	C	D
Typ a označení žárobetonu		LCC-A	LCC-B	ULCC-B	ULCC-C
Hlavní složka		vysocelin. kamenivo	bauxit	bauxit	korund
<b>Chemická analýza</b>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	51	78	85	95
SiO <sub>2</sub>	%	44	16,4	11	3,1
CaO	%	1,6	1,7	0,8	0,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	1,0	1,3	1,2	0,1
<b>Fyzikální vlastnosti po 110 °C/24 h</b>					
objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	2400	2900	3150	3300
zdánlivá pórovitost	%	12	12	10	12
pevnost v tlaku	MPa	90	130	100	70
<b>Fyzikální vlastnosti po výpalu na teplotu °C/5 h</b>					
teplota výpalu	°C	1550	1500	1600	1600
lineární délkové změny	%	- 0,2	- 0,3	- 1,1	- 0,8
objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	2350	2850	3150	3300
zdánlivá pórovitost	%	17	14	12	10
pevnost v tlaku	MPa	140	150	120	120

### 3.3. Žárobetony typu LC, ULC a NC s přísadami

Pro další fázi laboratorních zkoušek byly vybrány materiály, které by teoreticky měly vykazovat lepší odolnosti vůči korozi struskou. K tomuto účelu byly určeny standardně vyráběné materiály na bázi :

- spinelu hlinito - hořečnatého ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO )
- materiály chrom - korundové, popř. chrom – bauxitové

Poznámka : materiály na bázi SiC nebyly testovány z důvodu provozních podmínek agregátů.  
Tabulka č.3 ukazuje jejich základní chemické a fyzikální parametry.

Tab. 3: vlastnosti žárobetonů se zvýšenou odolností vůči korozivnímu prostředí.

Parametr/vzorek	Rozměr	E	F	G	H
Typ a označení žárobetonu		NCC-SP	ULCC-SP	ULCC-CCR	ULCC-BCR
Hlavní složka		spinel	spinel	korund chrom	bauxit chrom
<b>Chemická analýza</b>					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	89,4	91,6	94	81,4
MgO	%	8,4	5,0	-	-
SiO <sub>2</sub>	%	2,0	0,6	0,05	9,8
CaO	%	0,02	0,9	0,8	0,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,05	0,1	0,05	0,9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	-	-	5,0	5,0
<b>Fyzikální vlastnosti po 110 °C/24 h</b>					
objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	3300	3200	3300	3150
zdánlivá pórovitost	%	11	15	15	12
pevnost v tlaku	MPa	60	30	30	50

Fyzikální vlastnosti po výpalu na teplotu °C/5 h					
teplota výpalu	°C	1700	1700	1700	1600
lineární délkové změny	%	+ 0,4	+ 0,1	+ 0,2	- 0,1
objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	3250	3150	3250	3100
zdánlivá pórovitost	%	13	16	18	15
pevnost v tlaku	MPa	80	120	80	120

#### **4. Odolnost vůči korozi struskou**

##### **4.1. Příprava zkušebních vzorků a popis zkoušky**

Úvodem je nutno říci, že pro stanovení odolnosti vůči korozi struskou neexistuje žádná platná česká, evropská ani mezinárodní norma. Test byl proto prováděn dle následující metodiky :

Ze suchých směsí byly připraveny vzorky rozměru 64 x 64 x 230 mm vibrolitím, postupem dle ENV 1402 – 5. Zkušební tělesa byla vypálena na 1500°C / 5 h a rozměr upraven na cca 64 x 64 x 114 mm. Do každého trámce byl vyvrtán otvor průměru 25 mm a hloubce 60 mm. Takto vzniklé „kelímky“ byly naplněny 37 - 39 g strusky a vypáleny na teplotu 1400°C/24 h. Po zchlazení a rozříznutí „kelímku“ byla měřením stanovena největší hloubka koroze a penetrace strusky a také nejmenší výška hladiny zbylé strusky ode dna.

##### **4.2. Výsledky odolnosti vůči korozi**

Výsledky hodnocení odolnosti vůči korozi udává tabulka č. 4

Tab.č. 4 Hodnocení koroze, penetrace a výšky hladiny vzorků po výpalu 1400°C/24 h

Parametr/vzorek	Rozměr	A	B	C	D	E	F	G	H
Hloubka koroze	mm	Nebyla zjištěna							
Max. hloubka penetrace	mm	0	10	12	23	0	4	3	1
Min. výška hladiny	mm	18	4	5	0	19	5	9	12

Z hodnocení testů první skupiny standardních žárobetonových směsí vyplynulo, že vysoký obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, respektive použití korundu jako hlavní složky, pro tento účel není výhodou (vzorek D). Materiály na bázi bauxitu dosáhly jen průměrných výsledků (vzorky B, C) a nejlepší výsledky z hlediska koroze a penetrace vykázal materiál na bázi vysocehlinitého kameniva s obsahem cca 50 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (vzorek A). Potvrdila se zkušenost že materiály na bázi mullitu, popř. sillimanitu jsou pro podobná korozivní prostředí vhodné.

Nejlepší odolnost vůči korozi v obou skupinách prokázal bezcementový žárobeton na bázi spinelu hlinito-hořečnatého, ve kterém je spinel připraven metodou „in situ“, tj. reakcí z výchozích oxidů Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO (vzorek E). Solidní výsledky dosáhly rovněž materiály obsahující Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (vzorky G, H), stejně jako materiál na bázi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a syntetického spinelu MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (vzorek F).

#### **4. Závěr**

Na základě výsledků zkušebních testů, zejména pak na základě odolnosti proti korozi a penetraci a s ohledem na ekonomická kritéria, byl pro žárovzdorné vyzdívkové rotačních pecí určen jako optimální žárobeton s nízkým obsahem cementu na bázi vysocehlinitého kameniva s obsahem 50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (vzorek A). Tento materiál prokázal i v provozních podmínkách vysokou odolnost proti korozi struskou a dosáhl vysokých výdržností. Dosažené výsledky z hlediska výdržnosti i z hlediska měrných nákladů potvrdily správnost volby ve srovnání s dříve používanými žárovzdornými materiály.

## **5. Použitá literatura :**

1. Problems, Possibilities and Trends of Refractory Lining for Waste Incineration Plants.  
W. Schulle, Institute of Chemical Engineering, Freiberg University of Mining and Technology, Germany  
INDUSTRIAL CERAMICS, volume 19, n. 2, 1999.
2. Problems, Possibilities and Trends of Refractory Lining for Waste Incineration Plants.  
W. Schulle, Institute of Chemical Engineering, Freiberg University of Mining and Technology, Germany.  
Interceram, vol. 48, No. 6, 1999.
3. High Performance Refractories Installed for Waste Melting Furnace in Japan - Current Status and Future Trend.  
KIMIO OKAMOTO, TAKAHIRO MIYAJI and YOSHIMASA MIYAGISHI.  
Asahi Glass Ceramics Company Co., Ltd.  
UNITECR 2003, Japan.
4. Spinel-korundové vyzdívky hutnických agregátů - efektivní řešení.  
Pešek J., Korsá B., Fajfr P., Rybák L., ŽÁROHMOTY, spol. s r.o., Třemošná  
Grenár A., Kutná Hora
5. High Temperature Mechanical Properties of Bauxite-Based SiC-containing Castables.  
Fangbao Ye, M. Rigaud, CIREP, Ecole Polytechnique, Montréal, Canada  
Xinhong Liu, Xiangchong Zhong, China.  
UNITECR 2003, Japan.
6. Development of Spinel- magnesia Castable for Steel Ladles.  
Hisaharu Sasaki, Ryosuke Nakamura, Toshihiko Kaneshige, Makoto Namba, Shinagawa Refractories Co., Ltd.  
UNITECR 2003, Japan.
7. Směrnice 2000/76/EC, zákon 86/2002 Sb.( ve smyslu zákona 96/2004 ) o ochraně ovzduší, zákon 185/2001 Sb. o odpadech.