

# Nowatorskie rozwiązania stosowane w wymurówkach pieców na przykładzie spalarni odpadów niebezpiecznych

**Innovative refractory lining concepts as exemplified in hazardous waste incineration plants.**

J. SPERBER, R. BURGARD, F.J. DUENNES



## W KILKU SŁOWACH

We współczesnym, zindustrializowanym świecie przyjazna środowisku i regulowana prawem utylizacja odpadów jest jednym z głównych zadań ochrony środowiska. Niezbędne, by zachować stabilność ekosystemu jest zwłaszcza unieszkodliwianie tzw. odpadów niebezpiecznych. W świecie zorientowanym na produkcję dóbr konsumpcyjnych liczba i ilość takich substancji rośnie z dnia na dzień. Ich utylizacja jest szczególnie istotna w perspektywie wciąż rozrastającej się populacji. Żeby była przyjazna środowisku, musi opierać się na dwóch zasadach: jedną jest redukcja ilości wytwarzanych odpadów, a drugą ich utylizacja poprzez termiczne przekształcanie substancji szkodliwych. Poniższy artykuł omawia różne rodzaje wymurówek specjalnie dostosowanych do pieców w spalarniach odpadów niebezpiecznych. Opierając się na ponad 25 latach doświadczenia, STEULER-KCH prezentuje przykłady wymurówek przystosowanych do przyjaznego środowiska termicznego przekształcania odpadów.



## SUMMARY

The environmentally friendly and well-regulated disposal of waste is one of the key factors of conservation of nature in a modern industrialised society. Especially the disposal of so called hazardous waste is a very important issue related to the question of sustainability. Nowadays in a modern technical world guided by consumer products the daily number and amount of critical substances is increased. Therefore we have to focus on this development in response to a growing world population. The environmentally friendly handling of these things is based on two philosophies. One is the discouragement of waste which will lead to a lower amount of waste in total and on the other hand a waste management based on thermal treatment of critical residuals. In this paper customised lining concepts for hazardous waste incineration plants are discussed. Based on more than 25 years of experience STEULER-KCH shows some examples of lining solutions for the thermal treatment and environmentally friendly disposal of wastes.

STEULER-KCH GmbH  
56203 Höhr-Grenzhausen  
Germany

## Wstęp

Spalanie jest kluczowym elementem unieszkodliwiania i recyklingu odpadów niebezpiecznych. Ma na celu rozkład elementów toksycznych, redukcję ilości i objętości odpadów

oraz odzyskiwanie energii. Poniżej omówione są różne typy pieców desygnowanych do utylizacji odpadów halogenowanych i alkalicznych oraz odpadów mieszanych w mniej-więcej zróżnicowanym procesie. Przedstawione są też innowacyjne, odporne na zniszczenie wymurówki pie-

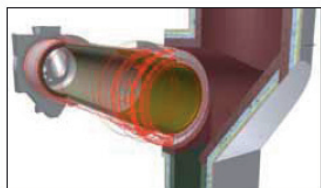




ców obrotowych, pieców ze złożem fluidalnym i pieców z rusztem nieruchomym używanych do utylizacji ścieków lub np. substancji halogenowanych.

## 2. Spalanie odpadów mieszanych – piece obrotowe

Piece obrotowe to najważniejsze z urządzeń do spalania odpadów niebezpiecznych ponieważ umożliwiają spalanie dużych ilości różnorodnych rodzajów odpadów w różnej kondycji (ryc. 1) – żaden inny piec nie jest w stanie spalać tak dużych ilości odpadów stałych, pastowatych i ciekłych jednocześnie. Nierzadko piece te osiągną wydajność 60 000 ton rocznie. Ich cylindry mają do 5 m średnicy i wykorzystują systemy grzewcze na prąd stały. W zależności od średnicy, długość cylindra wynosi od 6 do 12 m, w niektórych przypadkach nawet 16 m.



Ryc. 1. Kompleks spalania odpadów niebezpiecznych

Materiał wsadowy dozowany może być przez różne systemy załadunkowe. Przy odpadach stałych najczęściej używany jest wosp. Materiały ciekłe i pastowate wprowadza się dyszami. Zużywanie się ściany czołowej pieca wynika z kontaktu z wilgotnymi, wstępnie odparowanymi odpadami oraz z mechanicznego oddziaływania materiałów stałych, takich jak kontenery. Ponieważ w tym obszarze nie wytwarza się żużel, do wymurówki nie jest konieczne użycie materiałów zawierających tlenek chromu. Dlatego też najczęściej stosuje się tam wyłożenia z chemicznie związanego krzemianu glinu pozyskanego z andaluzytu. Coraz częściej w gardzielach pieców stosuje się też odpowiednio wyprofilowane kształtki obmurza, by zoptymalizować straty przy spalaniu i tym samym zwiększyć ogólną wydajność procesu (ryc. 2).

W obszarach, gdzie może pojawić się żużel, STEULER-KCH poleca wymurówkę z materiałów zawierających tlenek chromu, takich jak popularne cegły zawierające elektrokorund szlachet-



Ryc. 2. Gardziel pieca obrotowego z wyprofilowanymi elementami obmurza

ny, dostępne w naszej ofercie. W zależności od kontroli i składu materiału wsadowego, w procesie spalania wytwarza się ciecz lub miazgę, gorący żużel, który transportowany jest przez poziomy piec obrotowy do komory odżużlenia, gdzie ochładza się go wodą, a następnie odprowadza do silosów. Bardzo niska lepkość i wysoka zawartość żelaza w żużlu najczęściej prowadzą do szybkiego zużywania się wyłożyń ogniotrwałych. By zapewnić akceptowalną trwałość wymurówki w tej bardzo narażonej na zniszczenie części pieca, konieczne jest użycie najlepszej jakości cegły zawierającej elektrokorund z większą lub mniejszą domieszką tlenku chromu. Jego proporcje są zależne od czasu pracy pieca. Tab. 1. przedstawia niektóre ze sprawdzonych materiałów do wyłożyń produkowane przez STEULER-KCH. Po prawej stronie znajdują się materiały ogniotrwałe o niskiej zawartości krzemionki. Ich wyniki gwarantują wysoką odporność na korozję i infiltrację. Zapewniają też dobrą elastyczność struktury przez dodatek tlenku cyrkonu, który rozbija strukturę samego materiału.

By zapewnić ustawiczne doskonalenie wymurówki, czy po prostu przetestować nowy materiał, w istniejącej lub nowej wymurówce można wydzielić obszar testowy i docelowo uzyskać pożądane rezultaty poprzez praktyczne wykorzystanie konkretnego materiału (ryc. 3). Celem takich testów jest wskazanie, który z materiałów najlepiej służy funkcjonowaniu danej spalarni.



Ryc. 3. Obszar testowy na płaszczu pieca obrotowego

	Suprema CZK 825 P	Suprema CZK 825 P	Suprema CZK 905 P	Suprema CZK 810 P	Supre- ma CZK 815 P
Analiza chemiczna [masa-%]					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	82	85	87	82	77
SiO <sub>2</sub>	8	5	2	2	2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	5	5	10	15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,6	1,4	1,5	1,5	1,5
Właściwości fizyczne					
Ciężar nasy- powy [g/cm <sup>3</sup> ]	3,14	3,35	3,41	3,43	3,48
Porowatość otwarta [vol-%]	14	12	12	12	12
Wytrzymałość na zgniatanie na zimno [MPa]	140	140	150	150	150
Moduł Younga	41 000	46 000	33 000	31 000	25 000
Współczynnik rozszerzalno- ści liniowej [x 10 <sup>-4</sup> /K]	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85

Tab. 1. Właściwości różnych rodzajów wyłożyń do pieców obrotowych zawierających tlenek chromu

### 3. Spalanie odpadów mieszanych – komora dopalania

Najtrudniejszymi z zadań komory dopalania, znajdującej się przy komorze wylotowej bębna obrotowego, są:

- transport chemicznie obojętnych pozostałości procesu spalania w formie stałej lub ciekłej do komory odżużlenia
- wtórne spalanie odpadów ciekłych i gazowych w dolnej części komory
- rozkład elementów toksycznych znajdujących się w gazach spalinowych poprzez odpowiedni czas przebywania w komorze o zakresie temperatur od 1000 do 1250°C, w zależności od wymogów prawnych dotyczących emisji gazów.

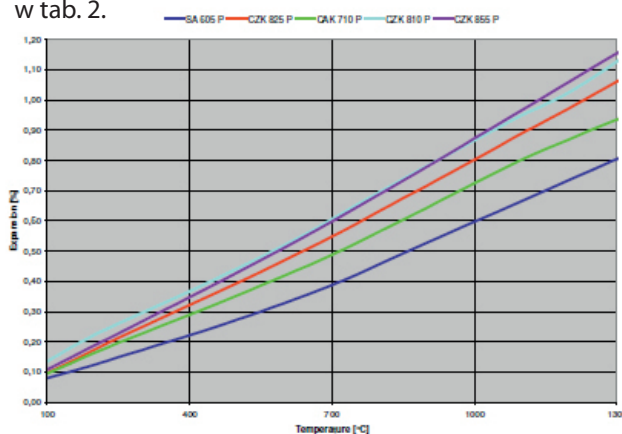
Początkowo w procesach spalania w piecach obrotowych stosowano prostokątne komory dopalania. Obecnie większość komór, zwłaszcza tych nowszych, ma cylindryczny kształt. Jest to związane z faktem, że w takich warunkach od-

pady lepiej reagują na czas przebywania i łatwiej się przemieszczają. Istnieją także wymogi konstrukcyjne, które spowodowały, że komory dopalania przybrały taki kształt.

Pionowo stojąca komora sięga 25 m wysokości, natomiast stalowy płaszcz ma 8 m średnicy i składa się z kilku warstw o całkowitej grubości do 600 mm. Grubość wewnętrznej warstwy, która najbardziej zużywa się w dolnej części komory, to od 180 do 250 mm. Duże uszkodzenia najczęściej występują w okolicach łuku przy wejściu do komory, w miejscu gdzie komora wylotowa bębna obrotowego łączy się z komorą dopalania. Przyczyn tego stanu upatruje się w dużej prędkości cząstek gazów spalinowych, w wysokich temperaturach spalania (sięgających do 1350°C) oraz w tym, że odpady ciekłe i gazowe wpuszczają się właśnie w dolnej części komory.

Zastosowanie standardowych materiałów, takich jak cegły z chemicznie związanego andalazytu, często nie jest wystarczającym rozwiązaniem i skutkuje równie niską trwałością wymurówki co w bębnach obrotowych. Dlatego też w przypadku ciekłego żużlu i odpadów silnie zasadowych STEULER-KCH poleca wymurówki z cegieł andalazytowych lub andalazytowo-korundowych z domieszką tlenku chromu, które wydłużą żywotność wymurówki.

Jedną z zalet cegieł andalazytowych sprawdza się tak w wymurówce pieca, jak i komory dopalania. Jest nią zmniejszenie rozszerzalności cieplnej, w wyniku którego nacisk na łuk wymurówki jest mniejszy niż w przypadku zastosowania cegieł korundowych, używanych w bębnach obrotowych (ryc. 4). Lista najnowszych materiałów do wyłożyń komory dopalania znajduje się w tab. 2.



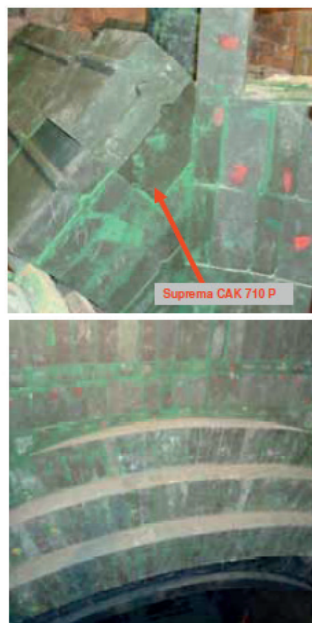
Ryc. 4. Ekspansja termiczna różnych materiałów do wyłożyń



	Suprema SA 605 P	Suprema CA 705 P	Suprema CA 705 P
Analiza chemiczna [masa-%]			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	70	70
SiO <sub>2</sub>	36	20	13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	0,8	0,6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5	10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,4	1,5	2,1
Właściwości fizyczne			
Ciężar nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	2,58	2,85	3,00
Porowatość otwarta [vol-%]	13	14	14
Wytrzymałość na zgniatanie na zimno [MPa]	110	100	100
Moduł Younga	28 000	22 000	20 000
Współczynnik rozszerzalności liniowej [×10 <sup>-4</sup> /K]	0,55	0,62	0,65

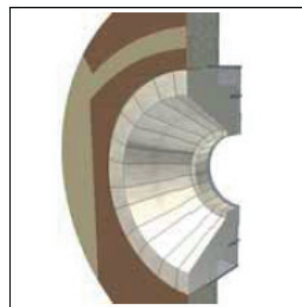
Tab.2. Właściwości różnych rodzajów wyłożeń do komory dopalania

Poza doborem odpowiednich materiałów możliwe jest też dokonanie pewnych zmian konstrukcyjnych. Często do zbudowania łuku kopuły używa się cegieł z połączeniami „na pióro i wpust”. Zapewnia to stabilność konstrukcji i zapobiega rozkładowi cegieł w okolicy łuku. Prezentacja tej techniki jest przedstawiona i opisana na zdjęciach poniżej (ryc. 5 i 6).



Ryc. 5. Łuk komory dopalania wyłożony cegłami z połączeniem „na pióro i wpust” w początkowych etapach budowy  
Ryc. 6. Gotowy łuk złożony techniką „na pióro i wpust”

Innowacyjne materiały i/lub konstrukcje są niezbędne do zwiększenia wydajności wymurówki w okolicach palników i pierścieni wzmacniających płaszcz komory pieca. Schematyczna rycina wlotu palnika przy ceglany łuku segmentowym pokazuje jak można osiągnąć lepszą wydajność (ryc. 7). Z kolei odpowiedni dobór materiału zapewni optymalną trwałość wymurówki. Dlatego też należy użyć andaluzytu, korundu lub korundu z domieszką tlenku chromu.



Ryc. 7. Segmentowe ułożenie cegieł w strefie spalania

#### 4. Odpady silnie zasadowe

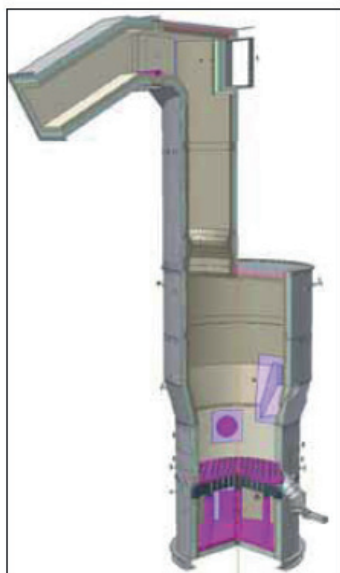
Do utylizacji odpadów silnie zasadowych, takich jak ścieki, biomasa czy szlam, można stosować różne techniki spalania. W przypadku ścieków najczęściej używa się tzw. utleniaczy termicznych. Do takich nieruchomych, cylindrycznych komór spalania odpady wprowadza się w stożkowej części utleniacza przy użyciu dysz.

W czasie przebywania w cylindrycznej części zachodzi reakcja rozkładu elementów toksycznych, natomiast w części wylotowej ma miejsce chłodzenie gazów spalinowych wodą.

W innych przypadkach używa się pieców ze złożem fluidalnym, jak w modelu poniżej. Najczęściej stosuje się je do utylizacji odpadów takich jak szlam czy biomasa (ryc. 8).

Materiałem ogniotrwałym są tu zazwyczaj odporne na środowisko zasadowe cegły andaluzytowe. Standardowo są to cegły wiązane chemicznie, przy silnie drażniących warunkach można jednak użyć cegieł andaluzytowych wypalanych w wysokiej temperaturze (Suprema SA 57P).

W niektórych piecach może pojawić się żużel. W takim wypadku do cegieł andaluzytowych należy dodać domieszkę tlenku chromu, by zapewnić najlepszą możliwą wydajność danego



Ryc. 8. Model pieca ze złożem fluidalnym

obszaru wymurówki. Krótka lista materiałów najczęściej używanych do wymurówek przedstawiona została w tab. 3.

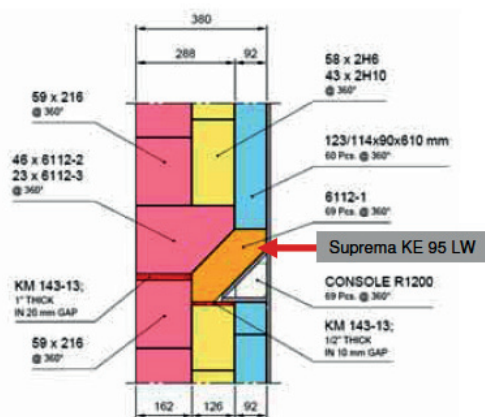
	Suprema SA 57 P	Suprema SA 605 P	Suprema CA 705 P	Suprema KE 85 P
Analiza chemiczna [masa-%]				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57	60	70	88
SiO <sub>2</sub>	37	36	20	9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	0,9	0,8	0,3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	5	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,7	1,4	1,5	1,4
Właściwości fizyczne				
Ciężar nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	2,58	2,58	2,85	3,08
Porowatość otwarta [vol-%]	10	13	14	14
Wytrzymałość na zgniatanie na zimno [MPa]	140	110	100	130
Moduł Younga	35 000	26 000	22 000	18 000
Współczynnik rozszerzalności liniowej [×10 <sup>-4</sup> /K]	0,52	0,55	0,62	0,70

Tab. 3. Właściwości różnych rodzajów wyłożyń dla utleniaczy termicznych i pieców ze złożem fluidalnym

### 5. Spalanie substancji halogenowanych

Spalanie substancji halogenowanych może odbywać się w piecach obrotowych z komorami dopalania, a także w piecach z rusztem nieruchomym. Te drugie często wykorzystuje się do spalania węglowodorów halogenowanych, takich jak te zawarte w odpadach z freonami czy węglodlorami. Bęben obrotowy niezbędny

jest w przypadkach, gdy mamy do czynienia ze stałym materiałem wsadowym, np. paliwem do silników startowych z wieloskładnikowego paliwa raketowego zawierającego m.in. nadchloryny. Problem przy spalaniu odpadów halogenowanych polega na tym, że halogeny szkodzą wyłożeniom ogniotrwałym. Typowe wyłożenie zawierające krzemian glinu stopniowo niszczy się pod wpływem elektryczności halogenów. Wraz ze wzrostem elektryczności wzrasta też szkodliwość pierwiastka, począwszy od jodu, przez brom i chlor, aż do fluoru, który stwarza najbardziej szkodliwe warunki dla wyłożenia. Szczególnie narażone, a więc i najczęściej niszczone, są te elementy wymurówki, które zawierają krzemionkę. By temu zapobiec należy zredukować zawartość krzemionki w wyłożeniu do zera, jeśli to możliwe. W niektórych wypadkach stężenie halogenów jest bardzo wysokie, np. wsad fluorowy wynosi do 150 kg/h, a stężenie w atmosferze gazów pieca ok. 0,1 kg/Nm<sup>3</sup>. By piec wytrzymał takie warunki, konieczne jest użycie niemal bezkrzemianowych, bezpośrednio łączonych cegieł korundowych. Wyłożenie zewnętrzne można wykonać z cegieł z korundu sferycznego, co zapewni niską zawartość krzemionki w całej wymurówce (ryc. 9). Jeśli spalanie materiałów stałych zachodzi w piecu obrotowym, wymurówkę można wykonać z cegieł korundowych z domieszką tlenku chromu i niską zawartością krzemionki, by zagwarantować odporność na wpływ mogącego się pojawić żużlu. W tab. 4. zaprezentowano trzy najczęściej stosowane rodzaje materiałów zaprojektowanych do użytku na obszarach mających kontakt z halogenami. Ryc. 10. przedstawia plan komory spalania freonów.

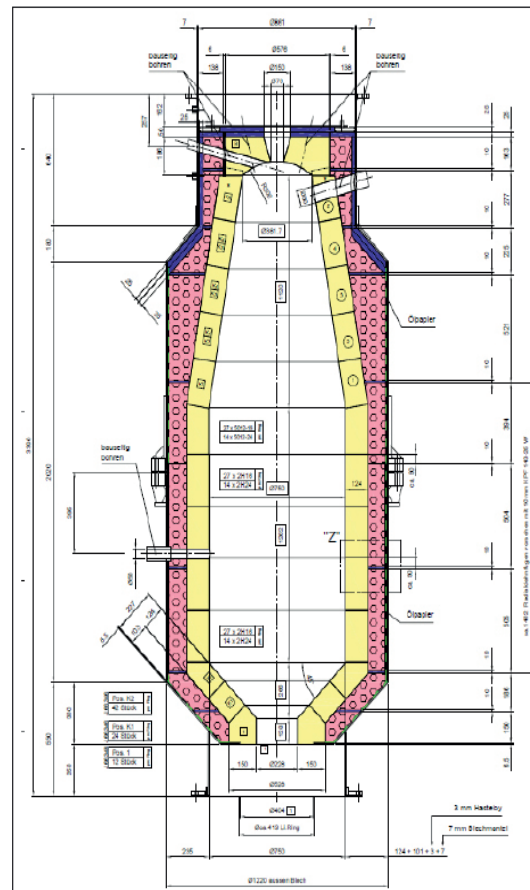


Ryc. 9. Szkic pierścienia wzmacniającego płaszcz komory dopalania odpadów halogenowanych



	Suprema CZK 905 P	Suprema KE 99	Suprema KE 95 LW
Analiza chemiczna [masa-%]			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	87	99,5	93
SiO <sub>2</sub>	2	0,2	5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	0,1	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,5	-	-
Właściwości fizyczne			
Ciężar nasypowy [g/cm <sup>3</sup> ]	3,41	3,35	1,50
Porowatość otwarta [vol-%]	12	15	52
Wytrzymałość na zgniatanie na zimno [MPa]	150	120	15
Moduł Younga	33 000	68 000	5000
Współczynnik rozszerzalności liniowej [×10 <sup>-4</sup> /K]	0,85	0,85	0,70

Tab. 4. Właściwości specjalnych wyłożyń przystosowanych do spalania odpadów halogenowanych



Ryc. 10. Plan komory spalania freonów.

## BEZDOTYKOWY POMIAR TEMPERATURY

### PIROMETRY SKANERY LINIOWE KAMERY TERMOWIZYJNE



**-40...3000°C**



#### PIROMETRY

Jedno i dwubarwowe, ze światłowodem lub bez. Pomiar przez wzierniki, zapylenie, w pobliżu silnych pól elektromagnetycznych czy w wysokiej temperaturze otoczenia. Możliwość podłączenia kilku głowic do jednego przetwornika (seria MI3) z Profibusem, RS485 lub Modbusem. Także do pomiaru płomienia i pracy w strefie Ex.

#### SKANERY LINIOWE

Pomiar temperatury do 1024 punktów w jednej linii. Częstotliwość do 150 linii/s. Oprogramowanie do kontroli procesów przemysłowych. Zaawansowane funkcje alarmowe i kontroli procesu. Serwer http i OPC. Praca w temperaturze otoczenia do 1090 °C w specjalnej obudowie.

#### KAMERY TERMOWIZYJNE

Kamery termowizyjne o zakresach spektralnych od 0,4 do 14 μm. Kontrola wizyjna procesów wysokotemperaturowych z opcją pomiaru temperatury do 2000 °C. Obudowa do pracy w otoczeniu do 400 °C. Różne obiektywy. Oprogramowanie producenta i biblioteki SDK.

Organizujemy prezentacje i testy oferowanych urządzeń u Klientów. Dodatkowe informacje na [www.irtech.pl](http://www.irtech.pl)

**IRtech**<sup>®</sup>

[info@irtech.pl](mailto:info@irtech.pl)

## 6. Podsumowanie

By zagwarantować lepsze wyniki i dłuższą żywotność spalarni, przy procesach spalania niezbędna jest bezustanna komunikacja między klientem a dostawcą.

Użycie cegieł korundowych z tlenkiem chromu i niską zawartością krzemionki, przeznaczonych do wymurówki pieców obrotowych zagwarantuje większą wydajność spalarni. Dzięki materiałom najnowszej generacji przeznaczonym do komór dopalania, takim jak Suprema CAK 710 P, możliwe jest także wydłużenie żywotności w najbardziej narażonych na uszkodzenia częściach komory. Zastosowanie materiałów z niską zawartością krzemionki jest kluczowe przy spalaniu odpadów halogenowanych. Dlatego też STEULER-KCH oferuje specjalne cegły z korundu sferycznego, takie jak Suprema KE 95 LW o wysokiej wytrzymałości, które można stosować np. do wyłożenia komory dopalania lub wewnętrznej strony bębna by chronić pierścienie wzmacniające płaszcz komory pieca.

