

LABORATORYJNA WERYFIKACJA NIEKTÓRYCH KONKLUZJI BAT DLA SPIEKALNI RUD

W artykule przedstawiono wyniki weryfikacji konkluzji BAT 20, 22 i 23 dla spiekalni rud. Badania przeprowadzono na linii do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza, będącej na wyposażeniu Zakładu Badań Procesów Surowcowych Instytutu Metalurgii Żelaza. Stwierdzono, że możliwe jest spełnienie tych konkluzji BAT. Dzięki właściwościom wkładów ceramicznych pokrytych katalizatorem V_2O_5/TiO_2 uzyskano prawie 100% redukcję pyłów i SO_x oraz około 60% redukcję NO_x ze spalin.

Słowa kluczowe: konkluzja BAT, spiekanie rud żelaza, filtr ceramiczny, katalizator, tlenki siarki, tlenki azotu, pył

LABORATORY VERIFICATION OF CERTAIN BAT CONCLUSIONS FOR SINTER PLANTS

The paper presents the results of the verification of BAT conclusions 20, 22 and 23 for the sinter plants. The research was carried out on a line for semi-industrial simulation of iron sintering at the Department of Primary Processes of the Institute for Ferrous Metallurgy. Based on the obtained data, it was found that it is possible to realise these BAT conclusions. Owing to the properties of ceramic inserts coated with a V_2O_5/TiO_2 catalyst nearly 100% reduction of particulate matter and SO_x , as well as about 60% reduction of NO_x from flue gas were achieved.

Keywords: BAT conclusions, iron ore sintering, ceramic filter, catalyst, sulphur oxides, nitrogen oxides, dust

1. WPROWADZENIE

W dniu 8 marca 2012 r. w dzienniku Urzędowym UE opublikowano Decyzję Wykonawczą Komisji z dnia 28 lutego 2012 r. ustanawiającą konkluzje dotyczące Najlepszych Dostępnych Technik (BAT) zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych, w odniesieniu do produkcji żelaza i stali. Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do produkcji żelaza i stali obejmują instalacje tego sektora (konkluzje o charakterze ogólnym wszystkie 1–18), spiekalnie rud żelaza (konkluzje 19–32), grudkownie rud żelaza (konkluzje 33–41), instalacje koksownicze (konkluzje 42–58), wielkie piece (konkluzje 59–74), produkcję stali metodą konwertorowo-tlenową i odlewanie stali (konkluzje 75–86) oraz produkcję i odlewanie stali przy użyciu elektrycznych pieców łukowych (konkluzje 87–95) [1, 2].

Konkluzje BAT są dokumentami opracowanymi na podstawie BREF-BAT, przyjmowanymi w drodze decyzji Komisji Europejskiej, zgodnie z przepisami dotyczącymi emisji przemysłowych. Intencją wprowadzenia do praktyki produkcyjnej konkluzji dotyczących BAT było zminimalizowanie oddziaływania działalności produkcyjnej na środowisko przyrodnicze. Ustalono stosunkowo restrykcyjne wartości emisji BAT-AEL dla określonych procesów produkcyjnych, których dotrzymanie ma zapewnić ograniczone oddziaływanie przemysłu na środowisko, a metodą na ich dotrzymanie jest

zastosowanie technik wymienionych w konkluzjach. Techniki te nie stanowią pełnego katalogu możliwości zmniejszenia oddziaływania przemysłu na środowisko przyrodnicze (nie mają ani nakazowego, ani wyczerpującego charakteru) i nie są bezwzględnie wymagane pod warunkiem, że prowadzący instalacje stosujący ekwiwalentne metody ochrony środowiska, zarówno w zakresie spełnienia wartości poziomów emisji BAT-AEL, jak i ich monitorowania. Zgodnie z wymaganiami prawnymi termin wdrożenia konkluzji BAT w odniesieniu do produkcji żelaza i stali to 5.09.2018 roku, przy czym za wdrożenie rozumie się dostosowanie pozwoleń do aktualnego stanu prawnego oraz ograniczenie emisji substancji szkodliwych do poziomów określonych w konkluzjach.

Do chwili obecnej konkluzje dotyczące BAT wprowadzono w kilku gałęziach przemysłu (dla przemysłu produkcji płyt drewnopochodnych, dla przemysłu rafinerijnego, dla przemysłu papierniczego, dla przemysłu chloro-alkalicznego, dla przemysłu cementowo-wapienniczego, dla przemysłu garbarskiego, dla przemysłu szklarskiego, wspólnych systemów oczyszczania ścieków/gazów odlotowych i zarządzania nimi w sektorze chemicznym, dla przemysłu metali nieżelaznych) [3].

Dla wybranych konkluzji dotyczących spiekania rud żelaza, przeprowadzono badania weryfikujące na linii do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza, będącej na wyposażeniu Zakładu Badań Procesów Surowcowych w Instytucie Metalurgii Żelaza.

2. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH KONKLUZJI BAT DLA SPIEKALNI RUD WYBRANYCH DO WERYFIKACJI

W odniesieniu do spiekalni rud Decyzja Wykonawcza Komisji ustanawiająca konkluzje BAT przewiduje czternaście konkluzji, od numeru 19 do 32 [2]. Zakład Badań Procesów Surowcowych IMŻ posiada linię do półprzemysłowej symulacji spiekania rud żelaza, która umożliwia weryfikację niektórych zapisów konkluzji BAT. Poniżej, w tabelach 1–3 przedstawiono charakterystykę konkluzji BAT 20, 22 i 23, które podlegały weryfikacji. Konkluzje te dotyczą wykorzystania filtrów workowych lub elektrofiltrów do odpylania taśmy spiekalniczej oraz ograniczania emisji SO_x i NO_x m.in. poprzez stosowanie procesu RAC (proces regeneracji węgla aktywnego) i/lub SCR (selektywna redukcja katalityczna).

Tabela 1. Konkluzja BAT 20

Table 1. BAT conclusion 20

20. BAT w odniesieniu do głównych emisji ze spiekalni mają na celu ograniczenie emisji pyłu z gazów odlotowych z taśm spiekalniczych przy użyciu filtra workowego

BAT w odniesieniu do głównych emisji z istniejących spiekalni mają na celu ograniczenie emisji pyłu z gazów odlotowych z taśm spiekalniczych dzięki użyciu nowoczesnych elektrofiltrów, jeżeli nie można zastosować filtrów workowych.

Odpowiadający BAT poziom emisji pyłu wynosi $<1\div 15 \text{ mg/Nm}^3$ dla filtra workowego i $<20\div 40 \text{ mg/Nm}^3$ dla nowoczesnego elektrofiltra (który powinien być zaprojektowany i eksploatowany tak, aby osiągnąć te wartości), przy czym w obu przypadkach wartości są wartością średniobową.

Filtr workowy

Opis

Filtry workowe stosowane w spiekalniach są zwykle umieszczone za istniejącym elektrofiltrem lub cyklonem, ale mogą być również eksploatowane jako niezależne urządzenie.

Możliwość zastosowania

W przypadku istniejących zakładów istotne mogą okazać się takie wymogi, jak zapewnienie przestrzeni do instalacji za elektrofiltrem. Należy zwrócić szczególną uwagę na wiek i efektywność istniejącego elektrofiltra.

Nowoczesny elektrofiltr

Opis

Nowoczesne elektrofiltry charakteryzują się co najmniej jedną z poniższych właściwości:

- dobra kontrola procesów;
- dodatkowe pola elektryczne;
- dostosowana siła pola elektrycznego;
- dostosowany poziom wilgotności;
- kondycjonowanie za pomocą dodatków;
- wyższe lub impulsowo zmienne napięcia;
- szybko reagujące napięcie;
- nakładanie się impulsów wysokoenergetycznych;
- ruchome elektrody;
- zwiększenie odległości między płytami elektrod lub inne cechy poprawiające skuteczność redukcji.

Spełnieniem wymogu BAT 20 jest stosowanie nowoczesnych elektrofiltrów na taśmach spiekalniczych, jeśli nie można zastosować filtrów workowych. W istniejących krajowych spiekalniach rud może wystąpić brak możliwości instalacji filtrów workowych za elektrofiltrem, ze względu na brak przestrzeni lub wysokie koszty inwestycyjne. Teoretycznie istnieje możliwość zastosowania tzw. filtra hybrydowego, jako zapewniającego równoważny poziom ochrony środowiska. Jest to połączenie elektrofiltra i filtra workowego, które zamontowane są w przestrzeni zajmowanej pierwotnie tylko przez elektrofiltr. Nie zawsze filtry hybrydowe

Tabela 2. Konkluzja BAT 22

Table 2. BAT conclusion 22

22. BAT w odniesieniu do głównych emisji z taśm spiekalniczych mają na celu ograniczenie emisji tlenku siarki (SO_x) poprzez zastosowanie jednej z poniższych technik lub ich kombinacji:

- zmniejszenie ilości wprowadzanej siarki poprzez zastosowanie koksiku z niską zawartością siarki;
- zmniejszenie ilości wprowadzanej siarki dzięki ograniczeniu do minimum zużycia koksiku;
- zmniejszenie ilości wprowadzanej siarki dzięki użyciu rudy żelaza o niskiej zawartości siarki;
- wdmuchiwanie odpowiednich adsorbentów do kanału gazu odlotowego z taśmy spiekalniczej przed odpyleniem na filtrze workowym (zob. BAT nr 20);
- odsiarczanie metodą mokrą lub proces regeneracji węgla aktywnego (ang. *regenerative activated carbon – RAC*) (ze szczególnym uwzględnieniem warunków wstępnych zastosowania).

Odpowiadający BAT poziom emisji tlenków siarki (SO_x) przy zastosowaniu BAT I-IV wynosi $<350\div 500 \text{ mg/Nm}^3$ w przeliczeniu na dwutlenek siarki (SO_2) i jest określony jako wartość średniobowa, przy czym niższa wartość odpowiada BAT IV. Odpowiadający BAT poziom emisji tlenków siarki (SO_x) przy zastosowaniu BAT V wynosi $<100 \text{ mg/Nm}^3$ w przeliczeniu na dwutlenek siarki (SO_2) i jest określony jako wartość średniobowa.

Opis procesu RAC, o którym mowa w BAT V

Techniki suchego odsiarczania są oparte na adsorpcji SO_2 na aktywnym węglu. Jeśli aktywny węgiel nasycony SO_2 jest regenerowany, proces ten nazywa się regeneracją węgla aktywnego (RAC). W takim przypadku można zastosować wysokiej jakości, kosztowny węgiel aktywny pozwalający na uzyskanie kwasu siarkowego (H_2SO_4) jako produktu ubocznego. Złóże jest regenerowane albo za pomocą wody, albo termicznie. W niektórych przypadkach, na potrzeby „precyzyjnej korekty” za istniejącym zespołem odsiarczania, stosowany jest węgiel aktywny na bazie węgla brunatnego. W takim przypadku aktywny węgiel nasycony SO_2 jest zwykle spoielany w kontrolowanych warunkach. System RAC może być opracowany jako proces jedno- lub dwustopniowy.

W procesie jednostopniowym gazy odlotowe są przepuszczane przez złożo aktywnego węgla, w którym środki zanieczyszczające są adsorbowane przez aktywny węgiel. Dodatkowo usuwany jest NO_x , gdy do strumienia gazu przed złożem katalizatora jest wtryskiwany amoniak (NH_3).

W procesie dwustopniowym gazy odlotowe są przepuszczane przez dwa złoża aktywnego węgla. Amoniak może być wtryskiwany przed złożem, aby obniżyć emisję NO_x .

Możliwość zastosowania technik, o których mowa w BAT V

Odsiarczanie metodą mokrą: Znaczenie mogą mieć wymogi przestrzenne, które mogą ograniczyć możliwość zastosowania tej metody. Należy uwzględnić wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, a także znaczące wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska („cross-media effects”), takie jak wytwarzanie i unieszkodliwianie mułu, a także dodatkowe środki dotyczące oczyszczania ścieków. Ta technika nie jest stosowana w Europie w momencie powstawania niniejszego dokumentu, ale mogłaby zostać wybrana w przypadku, gdy istnieje małe prawdopodobieństwo spełnienia wymagań norm jakości środowiska przy zastosowaniu innych technik.

RAC: Przed procesem RAC należy zainstalować system odpylania, aby zmniejszyć stężenie pyłu na wlocie. Zasadniczo rozkład instalacji oraz wymogi przestrzenne są istotnymi czynnikami przy uwzględnianiu tej techniki, szczególnie jednak w przypadku obiektu wyposażonego w więcej taśm spiekalniczych niż jedna. Należy uwzględnić wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, szczególnie w przypadku zastosowania wysokiej jakości, kosztownego węgla aktywnego i konieczności budowy instalacji kwasu siarkowego. Technika ta nie jest stosowana w Europie w momencie powstawania niniejszego dokumentu, ale mogłaby zostać wybrana w przypadku nowych instalacji, ukierunkowanych jednocześnie na SO_x , NO_x , pył oraz PCDD/F oraz w przypadku, gdy istnieje małe prawdopodobieństwo spełnienia wymagań norm jakości środowiska przy zastosowaniu innych technik.

Tabela 3. Konkluzja BAT 23

Table 3. BAT conclusion 23

<p>23. BAT w odniesieniu do głównych emisji z taśm spiekalniczych mają na celu ograniczenie całkowitej emisji tlenków azotu (NO_x) poprzez zastosowanie jednej z poniższych technik lub ich kombinacji:</p> <p>I. środki zintegrowane z procesem, które mogą obejmować:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. recyrkulację gazów odlotowych; ii. inne środki pierwotne, takie jak stosowanie do zapłonu antracytu lub palników o niskiej emisji NO_x; <p>II. techniki „końca rury”, które mogą obejmować:</p> <ul style="list-style-type: none"> i. proces regeneracji aktywnego węgla (RAC); ii. selektywną redukcję katalityczną (ang. selective catalytic reduction – SCR). <p>Odpowiadający BAT poziom emisji tlenków azotu (NO_x), przy zastosowaniu środków zintegrowanych z procesem, wynosi <500 mg/Nm³ w przeliczeniu na dwutlenek azotu (NO₂) i określony jako wartość średniodobowa.</p> <p>Odpowiadający BAT poziom emisji tlenków azotu (NO_x), przy zastosowaniu RAC, wynosi <250 mg/Nm³, a przy zastosowaniu SCR – <120 mg/Nm³ w przeliczeniu na dwutlenek azotu (NO₂) przy 15-procentowej zawartości tlenu, określone jako wartości średniodobowe.</p> <p>Opis recyrkulacji gazów odlotowych zgodnie z BAT I.i</p> <p>W przypadku częściowego recyklingu gazu odlotowego z części taśmy spiekalniczej jest ponownie wprowadzana do procesu spiekania. Częściowy recykling gazu odlotowego z całej taśmy opracowano przede wszystkim w celu ograniczenia przepływu gazu odlotowego i tym samym ograniczenia masowych emisji głównych zanieczyszczeń. Dodatkowo może on doprowadzić do spadku zużycia energii. Stosowanie recyrkulacji gazu odlotowego wymaga szczególnych wysiłków w celu dopilnowania, aby nie miała ona negatywnego wpływu na jakość i wydajność procesu spiekania. Należy zwrócić szczególną uwagę na tlenek węgla (CO) w recyrkulowanym gazie odlotowym, aby zapobiec zatruciu pracowników tą substancją. Opracowano różne procesy, takie jak:</p> <ul style="list-style-type: none"> • częściowy recykling gazu odlotowego z całej powierzchni taśmy; • recykling gazu odlotowego z końca taśmy spiekalniczej w połączeniu z wymianą ciepła; • recykling gazu odlotowego z części taśmy spiekalniczej i wykorzystanie gazu odlotowego z chłodni spieku; • recykling części gazu odlotowego do innych części taśmy spiekalniczej. <p>Możliwość zastosowania BAT I.i</p> <p>Możliwość zastosowania tej techniki zależy od spiekalni. Należy rozważyć zastosowanie środków towarzyszących, mających na celu zapewnienie, że technika ta nie będzie miała negatywnego wpływu na jakość spieku (wytrzymałość mechaniczna na zimno) i wydajność taśmy. W zależności od lokalnych warunków, środki te mogą być stosunkowo nieistotne, a ich wdrożenie może być łatwe, lub przeciwnie – mogą mieć bardziej fundamentalne znaczenie oraz być kosztowne i trudne do wprowadzenia. W każdym razie w przypadku wprowadzania tej techniki należy dokonać przeglądu warunków eksploatacji taśmy.</p> <p>W istniejących instalacjach wprowadzenie częściowego recyklingu gazu odlotowego może być niemożliwe ze względu na ograniczenia przestrzenne.</p> <p>Do istotnych czynników przy określaniu możliwości zastosowania tej techniki należą:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pierwotna konfiguracja taśmy (np. kanały z podwójną lub pojedynczą skrzynią powietrzną, dostępność miejsca na nowe urządzenia oraz, jeżeli to konieczne, wydłużenie taśmy); • pierwotny projekt istniejących urządzeń (np. wentylatorów, urządzeń do oczyszczania gazów oraz urządzenia do sortowania i chłodzenia spieku); • pierwotne warunki eksploatacji (np. surowce, wysokość warstwy, ciśnienie ssania, procent wapna palonego w mieszaninie, specyficzne natężenie przepływu, procent zwrotów zawracanych do wsadu w ramach instalacji); • istniejąca efektywność w zakresie wydajności oraz zużycia paliwa stałego; • wskaźnik zasadowości spieku i skład wsadu wielkopiecowego (np. procent spieku w stosunku do grudek we wsadzie, zawartość żelaza w tych składnikach). <p>Możliwość zastosowania innych środków pierwotnych zgodnie z BAT I.ii</p> <p>Zastosowanie antracytu zależy od dostępności antracytu o niższej zawartości azotu w porównaniu z koksikiem.</p> <p>Opis i możliwość zastosowania procesu RAC zgodnie z BAT II.i można znaleźć w BAT nr 22</p> <p>Możliwość zastosowania procesu SCR zgodnie z BAT II.ii</p> <p>Proces SCR można stosować w systemie wysokopyłowym, systemie niskopyłowym i systemie czystego gazu. Dotychczas w spiekalniach stosowano jedynie systemy czystego gazu (po odpyleniu i odsiarczeniu). Istotne jest, aby gaz zawierał niewielką ilość pyłu (<40 mg pyłu/Nm³) i metali ciężkich, ponieważ składniki te mogą spowodować nieskuteczność powierzchni katalizatora. Konieczne może być również odsiarczenie przed katalizatorem. Kolejnym wymogiem wstępnym jest minimalna temperatura gazu odlotowego wynosząca około 300°C. Wymaga to nakładu energii.</p> <p>Wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, konieczność regeneracji katalizatora, zużycie NH₃ i możliwość pojawienia się go na wylocie z instalacji, akumulacja wybuchowej saletry amonowej (NH₄NO₃), powstawanie korozyjnego SO₃ oraz dodatkowa energia konieczna do ponownego podgrzewania, co może ograniczyć możliwości odzysku ciepła jawnego z procesu spiekania – wszystkie te czynniki mogą ograniczać możliwość zastosowania. Technika ta mogłaby zostać wybrana w przypadku, gdy istnieje małe prawdopodobieństwo spełnienia wymagań norm jakości środowiska przy zastosowaniu innych technik.</p>

gwarantują osiągnięcie poziomu emisji, jak dla dedykowanych filtrów workowych tj. < 1÷15 mg/Nm³.

W warunkach krajowych spiekalni rud stosowany jest koksik i rudy żelaza z niską zawartością siarki. Przy niskich zawartościach siarki w gazach odlotowych nie ma potrzeby wdmuchiwania adsorbentów do kanału gazu odlotowego. Spełnienie BAT 22 należy rozpatrywać w aspekcie pomiaru stężenia siarki w gazach odlotowych z emitora. Należy mieć na uwadze, że najważniejszy powinien być rzeczywisty efekt ekologiczny wykazywany przez spiekalnie rud, a nie stosowanie konkretnej techniki. Jeżeli spiekalnia wykaże emisje siarki nieprzekraczające konkluzji BAT, to rodzaj zastosowanej techniki nie jest istotny.

Spełnieniem kryteriów BAT w przypadku krajowych spiekalni są środki zintegrowane z procesem, które obejmują częściowy recykling gazów odlotowych z całej powierzchni taśmy lub wykorzystanie gazu odlotowego z chłodni spieku oraz inne środki pierwotne, jak stosowanie antracytu do zapłonu mieszanki spiekalniczej. Stosowanie tych środków powoduje nieprzekraczanie poziomów emisji NO_x.

3. APARATURA

Dla konkluzji 20, 22 i 23 przeprowadzono badania weryfikujące na linii do półprzemysłowej symulacji

procesu spiekania rud żelaza, będącej na wyposażeniu IMŻ (Rys. 1–2). Weryfikacja obejmowała badanie skuteczności odpylania oraz usuwania SO_x i NO_x z procesu spiekania rud, przy wykorzystaniu innowacyjnego systemu neutralizacji spalin zawierającego katalityczny filtr ceramiczny (Rys. 2).



Rys. 1. Linia do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza i odpadów z wykorzystaniem nowatorskiego systemu neutralizacji spalin (LS)

Fig. 1. Line for semi-industrial simulation of iron ore and waste sintering with the use of an innovative system of exhaust gas neutralisation (LS)



Rys. 2. Modułowy, pionowy filtr ceramiczny z wkładami typu Cerafil TopKat1500

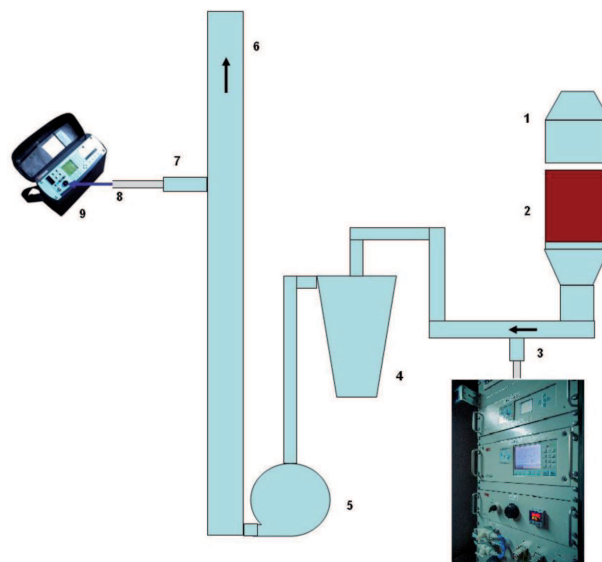
Fig. 2. Modular, vertical ceramic filter with inserts (Cerafil TopKat1500)

Do sprawdzenia możliwości wykonywania pomiarów w odniesieniu do głównej emisji tlenków azotu (NO_x) i dwutlenku siarki (SO_2) z taśm spiekalniczych, wykorzystano stacjonarny system do ciągłej analizy składu gazów odlotowych produkcji firmy ABB, wchodzący w skład linii do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza i odpadów. System ten zapewnia jednoczesny ciągły pomiar sześciu składników gazów odlotowych:

- CO – w zakresie od 0 do 10% objętości (pomiar w podczzerwieni),
- CO_2 – w zakresie od 0 do 25% objętości (pomiar w podczzerwieni),
- O_2 – w zakresie od 0 do 25% objętości (pomiar paramagnetyczny),
- SO_2 – w zakresie od 0 do 4 000 ppm (pomiar w podczzerwieni),
- CH_4 – w zakresie od 0 do 1 000 ppm (pomiar w podczzerwieni),

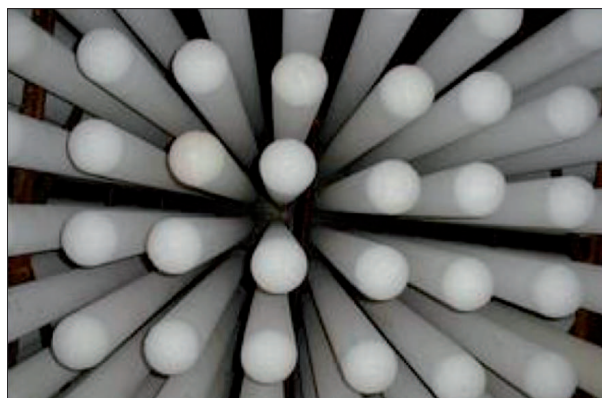
- NO – w zakresie od 0 do 5 000 ppm (pomiar w podczzerwieni).

System ten pozwala na ciągły monitoring tlenków azotu (NO_x) i dwutlenku siarki (SO_2) po stronie brudnej (pod misą spiekalniczą). Po stronie czystej (w kominie – za układem odpylającym) pomiary ciągłe prowadzone były za pomocą analizatora gazów GA40T plus (Rys. 3).



Rys. 3. Schemat linii do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza i odpadów z oznaczeniem punktów poboru spalin: 1 – Piec zapłonowy, 2 – Misa spiekalnicza, 3 – Punkt poboru prób przez stacjonarny system do ciągłej analizy składu gazów odlotowych (po stronie brudnej), 4 – Filtr ceramiczny, 5 – Wentylator, 6 – Komin, 7 – Punkt poboru prób gazów w kominie (po stronie czystej), 8 – Sonda, 9 – Analizator gazów GA40Tplus

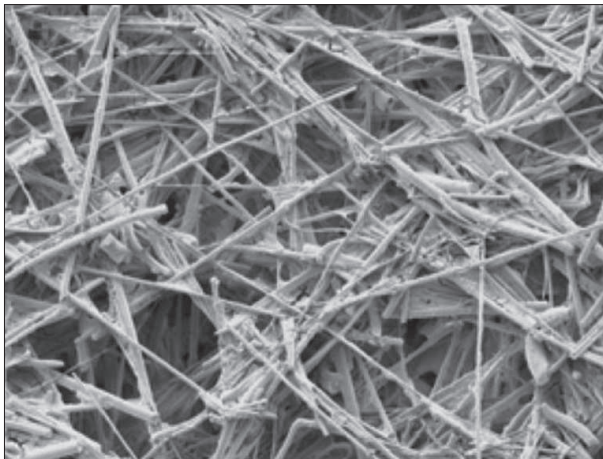
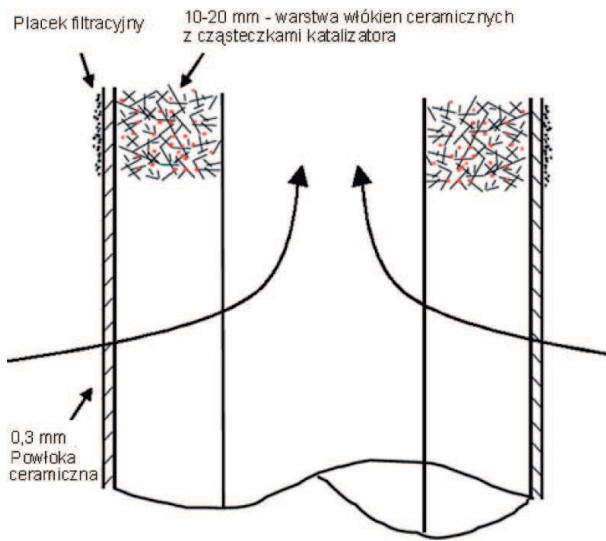
Fig. 3. Diagram of the line for semi-industrial simulation of iron ore and waste sintering with user of an innovative system of exhaust gas neutralisation with marked points of gas sampling: 1 – Ignition furnace, 2 – Sinter pot, 3 – Exhaust gases sampling point for continuous analysis of their composition by a stationary system (dirty side), 4 – Ceramic filter, 5 – Fan, 6 – Chimney, 7 – Exhaust gases sampling point in chimney (clean side), 8 – Probe, 9 – GA40Tplus gas analyser



Rys. 4. Wkład Cerafil TopKat

Fig. 4. Cerafil TopKat

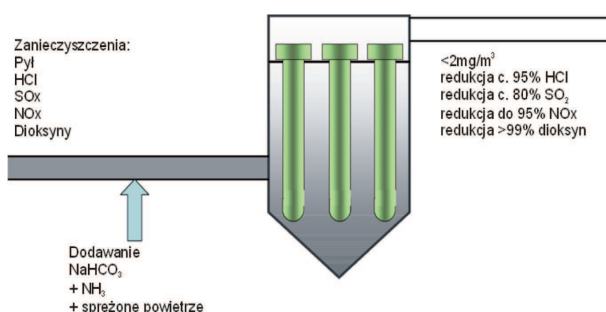
Na rys. 4–5 przedstawiono budowę i strukturę wkładów ceramicznych typu Cerafil TopKat, które zastosowane zostały w systemie neutralizacji spalin.



Rys. 5. Struktura włókien Cerafil

Fig. 5. Structure of the Cerafil fibre

Na rys. 6 przedstawiono możliwości usuwania zanieczyszczeń przez katalityczny filtr ceramiczny.



Rys. 6. Możliwości katalitycznego filtra ceramicznego

Fig. 6. Capabilities of the ceramic catalytic filter

W tabeli 4 przedstawiono charakterystykę filtra ceramicznego stosowanego w systemie neutralizacji spalin misy spiekalniczej.

Tabela 4. Charakterystyka filtra ceramicznego

Table 4. Characteristics of ceramic filter

Materiał filtracyjny	Wkład ceramiczny Cerafil TK1500XS-1, aktywowany przez $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$, który usuwa NO_x , dioksyny i lotne związki organiczne (LZO). Możliwość usuwania SO_x poprzez dodanie zasadowego sorbentu. Pracuje metodą suchą
Żywotność katalizatora $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$	od 4–6 lat w temp. poniżej 280°C
Ładunek katalizatora	6÷10% w zależności od wagi elementów
Maks. temperatura pracy	350°C
Wydajność nominalna	$5100\text{ m}^3/\text{h}$
Regeneracja filtra	systemem „on line” ze zbiornikiem sprężonego powietrza
Liczba komór filtracyjnych	2
Rozstaw pomiędzy wkładami	100 mm
Długość wkładu filtracyjnego	1500 mm
Powierzchnia filtracji	118 m^2
Liczba wkładów filtracyjnych	408 sztuk
Nominalna prędkość filtracji	$43,2\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
Dopuszczalne podciśnienie w filtrze	20 kPa
Zapylenie za filtrem	$<10\text{ mg}/\text{Nm}^3$

4. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

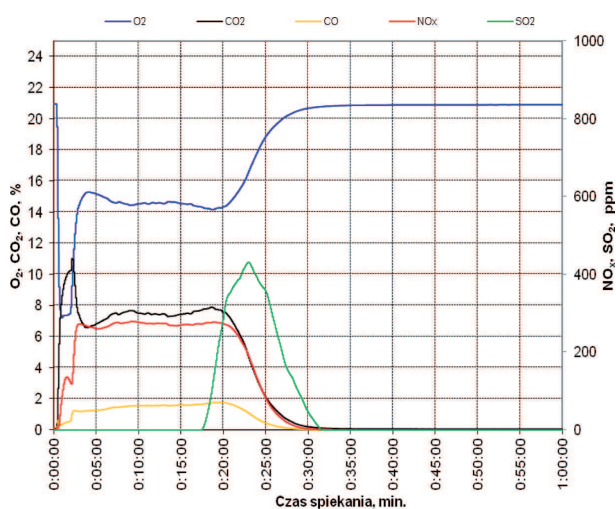
Przeprowadzono osiem testów spiekania rud, dla różnych wariantów wsadowych. Każdy test spiekania był powtarzany trzykrotnie, aby uzyskać powtarzalne wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń do środowiska. Celem tych testów było sprawdzenie sprawności odpylania gazów przez filtr ceramiczny z jednoczesną możliwością obniżania emisji pyłu, tlenków azotu (NO_x) i dwutlenku siarki (SO_2) z taśm spiekalniczych. Filtr ceramiczny pokrywany był zasadowym sorbentem, aby chronić wkłady filtracyjne, a jednocześnie, aby poprawić skuteczność odsiarczania spalin. Średnie stężenia SO_2 , NO_x i pyłu przedstawiono w tabeli 5. Na rys. 7–8 przedstawiono przykład prowadzonego podczas spiekania rud ciągłego monitoringu gazów z misy spiekalniczej po stronie miedzywej czystej filtra ceramicznego, dzięki któremu można było określić skuteczność oczyszczania gazów.

Zamieszczone w tabeli 5 wyniki pokazały, że możliwe jest jednoczesne spełnienie konkluzji BAT 20, 22 i 23 oraz uzyskanie bardzo wysokiej skuteczności usuwania mierzonych zanieczyszczeń. Stężenia SO_2 po stronie czystej były tak niskie, że nie udało się oznaczyć dokładnej zawartości siarki przy pomocy stosowanych analizatorów spalin (próg oznaczalności $<1\text{ ppm}$). Uzyskanie bardzo niskich stężeń SO_2 było możliwe dzięki stosowaniu napyłania wkładów filtracyjnych zasadowym sorbentem, który wychwycił siarkę. Konkluzja BAT 22 przewiduje poziom emisji $\text{SO}_x <350\div500\text{ mg}/\text{Nm}^3$ (dla technik BAT I-IV). Katalityczny system neutralizacji gazów stosowany w IMŻ jest również zdecydowanie lepszy niż najbardziej zaawansowana technika opisana w tym BAT tj. proces regeneracji węgla aktywnego RAC. Odpowiadający BAT poziom emisji

Tabela 5. Wyniki pomiarów SO₂, NO_x i pyłu w kominie podczas prób spiekaniaTable 5. Results of measurements of SO₂, NO_x and dust in the chimney during sintering tests

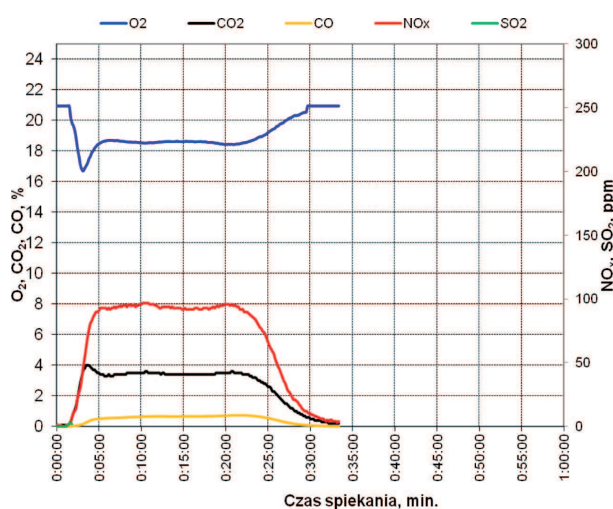
Nr testu	SO ₂			NO _x			Pył		
	ppm		Skuteczność usuwania SO ₂ %	ppm		Skuteczność usuwania NO _x %	mg/Nm ³		Skuteczność usuwania pyłu %
	po stronie brudnej	po stronie czystej		po stronie brudnej	po stronie czystej		po stronie brudnej	po stronie czystej	
T-01	245	< 1*	100	201	71	64,7	562	< 1*	100
T-02	187	< 1	100	176	67	61,9	605	< 1	100
T-03	186	< 1	100	172	66	61,6	612	< 1	100
T-04	248	< 1	100	211	85	59,7	630	< 1	100
T-05	257	< 1	100	201	75	62,7	625	< 1	100
T-06	171	< 1	100	202	79	60,9	446	< 1	100
T-07	194	< 1	100	201	82	59,2	471	< 1	100
T-08	194	< 1	100	211	87	58,8	482	< 1	100

* poniżej progu oznaczalności



Rys. 7. Przykład ciągłego monitoringu gazów z taśmy spiekalniczej po stronie brudnej filtra

Fig. 7. Continuous monitoring of gases from the sinter pot on the dirty side of the filter



Rys. 8. Przykład ciągłego monitoringu gazów z taśmy spiekalniczej po stronie czystej filtra

Fig. 8. Continuous monitoring of gases from the sinter pot on the clean side of the filter

tlenków siarki (SO_x) przy zastosowaniu tej techniki wynosi <100 mg/Nm³ w przeliczeniu na dwutlenek siarki (SO₂).

W przypadku konkluzji BAT 23 dzięki właściwościom wkładów ceramicznych pokrytych katalizatorem V₂O₅/TiO₂ możliwe jest około 60% obniżenie stężenia NO_x w gazach odlotowych. Możliwe jest dzięki temu wyeliminowanie bardzo drogich technik „końca rury”, które mogą obejmować proces regeneracji aktywnego węgla (RAC) lub selektywną redukcję katalityczną. Odpowiadający BAT poziom emisji tlenków azotu (NO_x) przy zastosowaniu RAC wynosi <250 mg/Nm³, a przy zastosowaniu SCR <120 mg/Nm³ w przeliczeniu na dwutlenek azotu (NO₂).

System neutralizacji spalin stosowany w IMŻ spełnia również wymogi konkluzji BAT 20, która ma na celu ograniczenie emisji pyłu z gazów odlotowych z taśm spiekalniczych dzięki użyciu nowoczesnych elektrofiltrów, jeżeli nie można zastosować filtrów workowych. Odpowiadający BAT poziom emisji pyłu wynosi <1÷15 mg/Nm³ dla filtra workowego i <20÷40 mg/Nm³ dla nowoczesnego elektrofiltra. Wystąpił tu podobny efekt, jak w przypadku usuwania SO_x. Stężenia kształtowały się poniżej progu oznaczalności (<1 mg/Nm³). Uzyska-

ne wyniki są zdecydowanie lepsze niż gwarantował producent filtrów ceramicznych. Zgodnie z deklaracją producenta (Tab. 4) zapylenie za filtrem powinno wynosić <10 mg/Nm³.

Możliwe jest, że w przyszłości, przy kolejnej rewizji dokumentu referencyjnego BREF, technika odpylania za pomocą katalitycznych filtrów ceramicznych może zostać uznana za technikę BAT, przy akceptowalnych kosztach jej wdrożenia.

5. PODSUMOWANIE

W 2012 r. Komisja Europejska ustanowiła konkluzje dotyczące Najlepszych Dostępnych Technik (BAT) w odniesieniu do produkcji żelaza i stali. Dokument ten obejmuje wszystkie instalacje (konkluzje o charakterze ogólnym 1–18), spiekalnie rud żelaza (konkluzje 19–32), grudkownie rud żelaza (konkluzje 33–41), instalacje koksownicze (konkluzje 42–58), wielkie piece (konkluzje 59–74), produkcję stali metodą konwertorowo-tlenową i odlewanie stali (konkluzje 75–86) oraz produkcję i odlewanie stali przy użyciu elektrycznych

pieców łukowych (konkluzje 87–95). Intencją wprowadzenia do praktyki produkcyjnej konkluzji dotyczących BAT było zminimalizowanie oddziaływania działalności produkcyjnej na środowisko naturalne. Wszystkie zapisy w konkluzjach są obligatoryjne dla instalacji produkcji żelaza i stali.

Instytut Metalurgii Żelaza posiada linię do półprzemysłowej symulacji procesu spiekania rud żelaza i odpadów. Do konkluzji BAT 20, 22 i 23 przeprowadzono badania weryfikujące skuteczności odpylania oraz usuwania SO_x i NO_x z procesu spiekania rud przy wykorzystaniu innowacyjnego systemu neutralizacji spalin zawierającego katalityczny filtr ceramiczny.

Wyniki badań wykazały, że możliwe jest jednoczesne spełnienie konkluzji BAT 20, 22 i 23 i uzyskanie bardzo wysokiej skuteczności usuwania zanieczyszczeń.

Pomiary SO_2 w kominie wykazały stężenia poniżej progu oznaczalności tj <1 ppm. Uzyskanie bardzo niskich stężeń SO_2 było możliwe dzięki stosowaniu

napylania wkładów filtracyjnych zasadowym sorbentem, który wychwycił siarkę. Dzięki właściwościom wkładów ceramicznych pokrytych katalizatorem $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2$ możliwe było około 60% obniżenie stężenia NO_x w gazach odlotowych. System neutralizacji spalin stosowany w IMŻ spełnia również wymogi konkluzji BAT 20, która ma na celu ograniczenie emisji pyłu z gazów odlotowych z taśm spiekalniczych. Wystąpił tu podobny efekt, jak w przypadku usuwania SO_x . Stężenia kształtowały się poniżej progu oznaczalności (<1 mg/Nm^3). Uzyskane wyniki były zdecydowanie lepsze, niż gwarantował producent filtrów ceramicznych. Zgodnie z deklaracją producenta zapylenie za filtrem powinno wynosić <10 mg/Nm^3 .

Możliwe jest, że w przyszłości, przy kolejnej rewizji dokumentu referencyjnego BREF, technika odpylania za pomocą katalitycznych filtrów ceramicznych może zostać uznana za technikę BAT, przy akceptowalnych kosztach jej wdrożenia w skali przemysłowej.

LITERATURA

1. Dokument referencyjny: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, European Commission 2013
2. Decyzja Wykonawcza Komisji z dnia 28 lutego 2012 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące Najlepszych Dostępnych Technik
3. Poradniki branżowe, Ministerstwo Środowiska, <http://ippc.mos.gov.pl/ippc/?id=131>, data dostępu 17.11.2016 r.