

EKOLOGICZNE ASPEKTY OCZYSZCZANIA SPALIN ZE SPALARNI ODPADÓW KOMUNALNYCH I PRZEMYSŁOWYCH

Wojciech MOKROSZ,
Mokrosz Sp. z o.o. ul. Kozielska 2a, 47-430 Rudy
mokrosz@mokrosz.pl

STRESZCZENIE

W referacie zaprezentowano możliwości wykorzystania dostępnych technologii oczyszczania spalin ze spalarni odpadów przemysłowych i komunalnych w aspekcie zoptymalizowania zagrożeń ekologicznych związanych z emisją odpadów niebezpiecznych i ścieków emitowanych z procesów po oczyszczeniu spalin. Dodatkowo zaprezentowano porównawczą analizę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych omawianych technologii oczyszczania spalin. Na przykładzie półsuchej instalacji oczyszczania spalin, wdrożonej w Elektrowni Skawina, omówiono proces modelowania i optymalizacji kształtu reaktora pneumatycznego, odpowiedniego do zastosowań w półsuchych technologiach oczyszczania spalin ze spalarni odpadów: począwszy od badań laboratoryjnych poprzez półtechnikę do wdrożenia i badań homologacyjnych na eksploatowanym obiekcie. W referacie wskazano i omówiono optymalną dla warunków polskiej gospodarki odpadami technologię oczyszczania spalin, wskazano również na potencjalne możliwości jej wdrożenia w oparciu o rodzimy przemysł.

1. Wstęp

Spalanie odpadów jest kontrowersyjną, ale skuteczną metodą ich utylizacji. Termiczna utylizacja odpadów powoduje zmniejszenie ilości odpadów oraz umożliwia przetworzenie zawartej w nich energii chemicznej – dzisiejsze technologie pozwalają na redukcję od 80% objętości odpadów (bez przetwarzania żużla) do 95% (z przetwarzaniem żużla). Redukcja masy wynosi od 60 do 70%. Głównymi produktami po spalaniu są żużel oraz popioły. Żużel może być wykorzystany gospodarczo, jako materiał budowlany. Popioły ze względu na zawartość w nich metali ciężkich zaliczane są do odpadów niebezpiecznych.

Spalarnie rozwiązują też problem odpadów, których składować nie można np. odpady poszpitalne, pochodzące z przemysłu chemicznego jak i odpady pochodzące z innych gałęzi przemysłu. Dodatkowo ciągle opracowywane są nowe techniki najefektowniejszego wykorzystywania energii z procesów spalania – z przetworzeniem jej w ciepło i/lub energię elektryczną. Aktualnie w Unii Europejskiej 20% odpadów poddawanych jest termicznemu przetworzeniu w spalarniach, a w Japonii utylizowanych jest w ten sposób 80% odpadów.

W trakcie spalania odpadów generowane są substancje szkodliwe dla człowieka i środowiska. Należą do nich między innymi dioksyny, do których zaliczamy polichlorowane dibenzoparadioksyny, polichlorowane dibenzofurany i niektóre polichlorowane bifenyle, zaliczane do dioksynopodobnych (PCDD/F). Udowodniono, iż polichlorowane dibenzoparadioksyny od wieków występowały w środowisku naturalnym. Powstają one podczas wybuchów wulkanów, pożarów lub wyładowań elektrycznych. Z badań wynika, iż nie wykryto w głębokich warstwach gleby polichlorowanych dibenzofuranów, co wskazuje na ich antropogeniczne pochodzenie.

Dioksyny nigdy nie były pożądanym produktem – nie mają zastosowania w przemyśle – toteż przez wiele lat w ogóle nie wiedziano o ich istnieniu i tworzeniu się. Pierwsze odkrycia przypadają na koniec XIXw. i początek XXw. Badania źródeł emisji przypadają na lata siedemdziesiąte XXw.

Natomiast dioksynopodobne – polichlorowane bifenyle były produkowane na dużą skalę głównie w latach trzydziestych XX w. Dopiero w latach sześćdziesiątych XX w. odkryto, ich silne właściwości nowotworowe.

Fenomen dioksyn polega na ich bardzo toksycznym działaniu przy bardzo małym stężeniu. Dodatkowo mają zdolności bioakumulacji i biomagnifikacji. Więc im wyżej w łańcuchu pokarmowym, poziom nagromadzenia w organizmach żywych jest wyższy.

Stan wiedzy na temat dioksyn i dioksynopodobnych jest odzwierciedleniem polityki w zakresie ochrony środowiska. Zarówno Europa Zachodnia jak i USA mają dobrze rozwinięte systemy zarówno kontroli jak i usuwania tychże związków.

W najbliższych latach Polska będzie musiała dostosować swój system przetwarzania odpadów do standardów Unii Europejskiej, stąd przewiduje się budowę 8÷10 spalarni odpadów komunalnych. W chwili obecnej w Polsce eksploatowana jest tylko jedna spalarnia odpadów komunalnych w Warszawie.

Ważnym zagadnieniem jest właściwy i przemyślny wybór technologii przetwarzania odpadów umożliwiający uzyskanie zamierzonego celu, przy dotrzymaniu obowiązujących standardów emisyjnych i zadawalającej efektywności ekonomicznej inwestycji.

2. Stosowane w praktyce metody oczyszczania spalin ze spalarni odpadów oraz metody redukcji związków wielkocząsteczkowych w procesie termicznego przetwarzania odpadów.

Duża różnorodność technologii oczyszczania spalin oraz metod redukcji związków wielkocząsteczkowych powoduje, że często głównym kryterium ich doboru jest koszt inwestycyjny. Jednak w dalszej perspektywie wybór taki związany jest zwykle z podwyższonymi kosztami eksploatacyjnymi instalacji oraz niedogodnościami związanymi z koniecznością utylizacji generowanych w procesie oczyszczania odpadów.

Zasadniczo technologie oczyszczania spalin i redukcji generowania w procesie utylizacji zanieczyszczeń podzielono na pierwotne i wtórne.

2.1. Metody pierwotne

Metody pierwotne polegają na wyeliminowaniu i/lub ograniczeniu procesów generowania substancji szkodliwych w procesie spalania, obejmują one redukcję związków PCDD/F oraz tlenków azotu. Realizowane są poprzez zapewnienie odpowiednich warunków procesu spalania:

- utrzymanie temperatury spalania na poziomie $>850\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy kilkusekundowym czasie retencji dla odpadów o zawartości masowej chloru $< 1\%$ i zaw. O_2 w spalinach $> 6\%$,
- utrzymanie temperatury spalania na poziomie $>1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy kilkusekundowym czasie retencji dla odpadów o zawartości masowej chloru $> 1\%$ i zaw. O_2 w spalinach $> 6\%$
- minimalizację zawartości CO w spalinach,
- minimalizację zawartości pyłu i chloru w spalinach (ograniczenie tzw. procesu de novo),
- zapewnienie odpowiedniej zawartości SO_2 w spalinach.

Metody te polegają na właściwym doborze kotła, pieca, o odpowiedniej konstrukcji komory spalania, komory dopalania oraz właściwym doborze paliwa. Zastosowanie dodatkowo technologii niekatalitycznego odazotowania (SNCR) w znaczny sposób ogranicza powstawanie związków PCDD/F w samym procesie spalania i oczyszczania spalin. Metody te są użyteczne w procesach przetwarzania energii w kotłach konwencjonalnych oraz we wszystkich innych procesach spalania. W przypadku kompleksowego oczyszczania spalin jest to zwykle jedna z metod ograniczania emisji PCDD/F i NO_x .

2.2. Metody wtórne

W procesach tych proces redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych związany jest z kompleksowym oczyszczaniem spalin z kwaśnych zanieczyszczeń gazowych nieorganicznych (HCl , HF , SO_2 , SO_3 , NO , NO_2), metali ciężkich, PCDD/F oraz pyłów i par. Procesy te realizowane są zasadniczo w oparciu o dwie technologie oczyszczania spalin: mokrą oraz półsuchą wyposażone dodatkowo w węzły adsorpcji PCDD/F i odazotowania zwykle SNCR rzadziej katalityczny SCR.

2.3. Metody półsuche

Metody półsuche polegają na kontaktowaniu zwykle odpylonych w elektrofiltrze gazów z sorbentem w postaci wodorotlenku wapnia i węgla aktywnego. Proces jest zwykle poprzedzony kondycjonowaniem spalin skutkującym obniżeniem ich temperatury, zwykle jednak z uwagi na powstawanie higroskopijnego chlorku wapniowego prowadzony jest w temperaturze powyżej 120°C . Technologie te umożliwiają skuteczne usuwanie zanieczyszczeń kwaśnych, PCDD/F, oparów oraz odpylanie do poziomu $10\text{--}20\text{ mg/Nm}^3$.

Usuwanie tlenków azotu realizowane jest zwykle w oparciu o technologię SNCR lub SCR. Zaletą metod półsuchych są niskie nakłady inwestycyjne na poziomie 360 zł/nm^3 oczyszczanych spalin. Wadą wysokie koszty eksploatacyjne na poziomie $0,0025\text{ zł/nm}^3$ i koszty zagospodarowania odpadów na poziomie $0,00125\text{ zł/nm}^3$. Dodatkowo w Polsce nie istnieją składowiska odpadów niebezpiecznych ze spalarni odpadów i odpady te muszą być deponowane poza granicami kraju lub poddawane stabilizacji.

Pewną odmianą tej technologii jest stosowanie wydzielonego węzła absorpcji związków PCDD/F oraz par rtęci za instalacją odsiarczania z zawracaniem węgla do procesu spalania. Rozwiązanie to jednak powoduje pewną remisję pyłu węglowego z adsorbera i w związku z tym wymagane jest skuteczniejsze odpylenie spalin w filtrze tkaninowym. Stwarza jednak możliwość łatwiejszego zagospodarowania produktu po odsiarczaniu spalin.

Odpady niebezpieczne w technologiach półsuchych to popiół z elektrofiltru oraz produkty odsiarczania spalin opcjonalnie wraz sorbentem węglowym.

2.4. Metody mokre

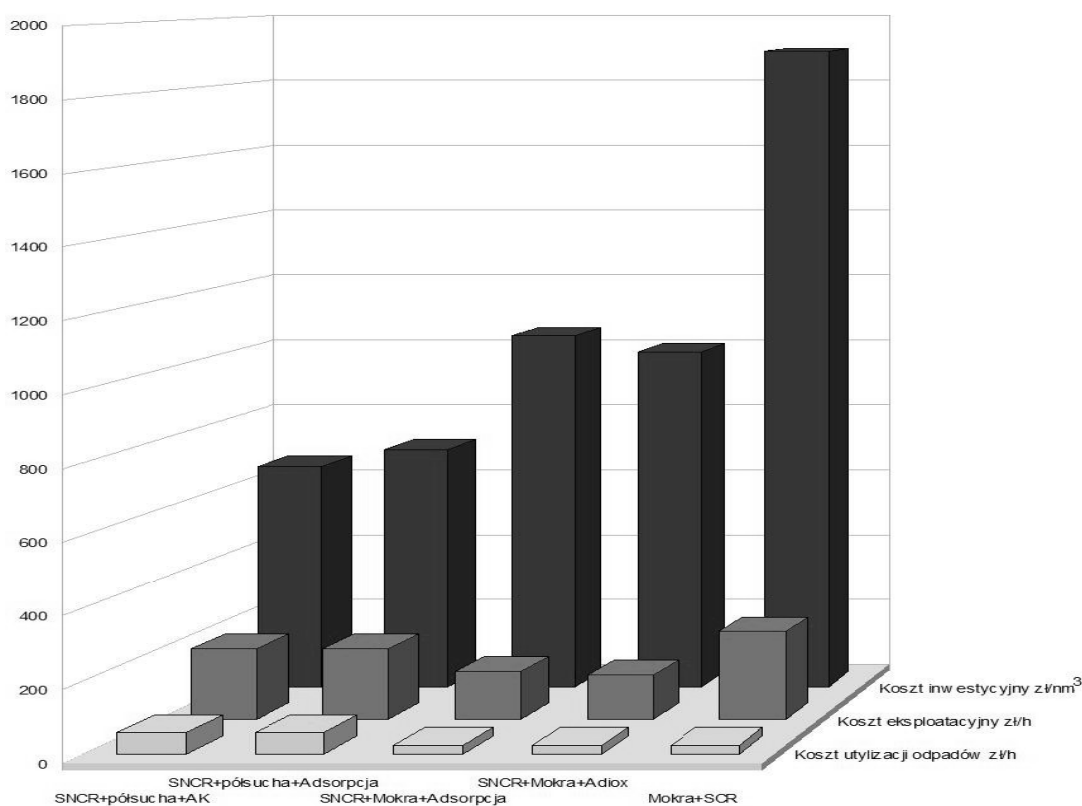
Metody mokre polegają na kontaktowaniu zwykle odpylonych w elektrofiltrze gazów w dwustopniowym absorberze natryskowym lub z wypełnieniem. W pierwszym stopniu następuje obniżenie temperatury spalin do temperatury termometru mokrego, wydzielenie pyłu oraz usuwane są łatwo absorbowalne zanieczyszczenia kwaśne HCl i HF . Czynnikiem sorpcyjnym jest woda procesowa z odwadniania gipsu lub roztwór poabsorpcyjny z drugiego stopnia absorpcji. W drugim stopniu absorpcji usuwany jest ditlenek siarki. Czynnikiem

sorpcyjnym jest zawiesina węgla wapniowego. W dalszym ciągu realizowany jest proces adsorpcji PCDD/F zwykle poprzez kontaktowanie spalin sorbentem węglowym. Usuwanie tlenków azotu realizowane jest w oparciu o technologię SNCR lub SCR. Produkty odsiarczania to ścieki odprowadzane z pierwszego stopnia absorpcyjnego do instalacji oczyszczania ścieków oraz zawiesina gipsu z drugiego stopnia oczyszczania, która po odwodnieniu jest łatwa do zagospodarowania.

Zaletą metod mokrych są niższe koszty eksploatacyjne i łatwe do zagospodarowania produkty oczyszczania spalin. Nakłady inwestycyjne mokrych metod oczyszczania kształtują się na poziomie 1000÷2000 zł/nm³ oczyszczanych spalin. Koszty eksploatacyjne nie przekraczają 0,001÷0,004 zł/nm³ i koszty zagospodarowania odpadów 0,0005 zł/nm³. Dodatkowo technologia mokra nie generuje odpadów niebezpiecznych. Zaletą metod mokrych jest możliwość stosowania wypełnień polipropylenowych zawierających węgiel aktywny co dodatkowo umożliwia obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Zalety metod mokrych związane są głównie z dwustopniową absorpcją umożliwiającą odseparowanie jonów Cl⁻ i łatwe zestalenie gipsu oraz łatwe odseparowanie węgla z zaadsorbowanymi PCDD/F w filtrze tkaninowym, i jego późniejszą utylizacją przez spalanie.

3. Analiza nakładów inwestycyjnych wybranych technologii oczyszczania spalin ze spalarni odpadów

Poniżej na wykresie 1 zaprezentowano koszty oczyszczania spalin ze spalarni odpadów rozwiązanych w oparciu o technologię mokrą i półsuchą wg różnych konfiguracjach technologicznych. Analizę przeprowadzono dla instalacji emitującej 50 000 nm³/h spalin



Wykres 1. Porównanie kosztów oczyszczania spalin ze spalarni odpadów

Analiza wykresu wskazuje, że pomimo niedogodności związanych z wyższymi kosztami eksploatacyjnymi, metoda pólsucha z dozowaniem węgla aktywnego jest godną uwagi technologią oczyszczania spalin. W stosunku do metody mokrej charakteryzuje się wyższymi kosztami eksploatacyjnymi, niemniej jednak koszt inwestycyjny jest znacznie niższy, dodatkowo wymaga mniej miejsca na lokalizację, nie wymaga podgrzewu spalin i jest dużo prostsza w eksploatacji. W ostatnich latach technologia ta znajduje coraz powszechniejsze zastosowanie do oczyszczania spalin ze spalarni odpadów.

W przypadku metod mokrych produkty oczyszczania są łatwiejsze do zagospodarowania, w szczególności w wariacie z węzłem SCR, jednak wysokie koszty inwestycyjne sprawiają, że rozwiązanie w takiej konfiguracji stosowane jest w przypadku spalarni przemysłowych gdzie istnieje ryzyko dużej zmienności ilości emitowanych zanieczyszczeń gazowych.

W ostatnim czasie obserwuje się też dużą liczbę wdrożeń technologii mokrej w wersji „Adiox” opartej o pylisty sorbent węglowy imobilizowany w osnowie polipropylenowej formowany w kształcie typowych wypełnień usypowych. Technologia ta, ze względu na swoją prostotę i eliminację wielu niedogodności w stosunku do metod adsorpcyjnych opartych o węgiel aktywny stanowi atrakcyjną propozycję.

4. Produkty i odpady powstające w procesach spalania odpadów komunalnych

Termiczna utylizacja odpadów komunalnych związana jest z powstawaniem produktów i odpadów generowanych podczas spalania oraz w trakcie oczyszczania spalin.

Żużel jest odpadem odprowadzonym z kotła z układu mokrego odzulfania. W przypadku właściwie zaprojektowanego kotła, żużel poddawany jest zwykle frakcjonowaniu i separacji metali żelaznych i nieżelaznych. Po sezonowaniu stanowi on pełnowartościowy produkt, który może zostać wykorzystany w budownictwie lub jako podsypka do budowy dróg.

Popiół lotny jest produktem spalania odpadów wydzielanym w ciągach konwekcyjnych kotła i/lub odpylaczu wstępnym. W zależności od temperatury panującej w poszczególnych ciągach konwekcyjnych popiół lotny można podzielić na dwa gatunki. Przyjmuje się, że popiół wydzielany w strefie temperatur powyżej 500°C nie zawiera związków PCDD/F i może on być deponowany lub utylizowany jak popioły z kotłów energetycznych. Popioły wydzielane w kolejnych ciągach kotła, reaktorze oraz odpylaczu zawierają w swoim składzie związki toksyczne i są zwykle magazynowane i deponowane wspólnie z produktem oczyszczania spalin.

Produkt poprocesowy z instalacji pólsuchego oczyszczania spalin stanowi mieszaninę wydzielonych zanieczyszczeń siarczynu i siarczanu wapniowego, nieprzereagowanego sorbentu i popiołu lotnego. Produkt wydzielany w reaktorze i odpylaczu, zawiera w swoim składzie związki toksyczne oraz rozpuszczalne związki nieorganiczne (głównie CaCl₂). Jest on zwykle magazynowany i deponowany wspólnie z popiołem lotnym lub stabilizowany z użyciem specjalnych dodatków mieszanek cementowo-polimerowych.

Produkt poprocesowy z instalacji mokrego oczyszczania spalin stanowi łatwy do utylizacji gips, zestalany zwykle z cementem w elementy wykorzystywane do formowania składowisk odpadów.

Ścieki z instalacji kierowane są do instalacji chemicznego oczyszczania i/lub zatężane, powstały osad może następnie zostać stopiony i poddany procesowi zeszkliwiania z wytworzeniem odpadu łatwego do zagospodarowania.

Adsorbent (koks aktywny) utylizowany jest poprzez spalanie w kotle.

5. Badania doświadczalne półsuchego procesu oczyszczania spalin - modelowanie i optymalizacji kształtu reaktora pneumatycznego

Badania doświadczalne przeprowadzono na pilotowych instalacjach odsiarczania spalin o różnych wydajnościach spalin opisanych w pracy [1]. Przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie równania skuteczności odsiarczania uwzględniającego istotne parametry procesowe oraz określenie skuteczności usuwania innych łatwo usuwalnych zanieczyszczeń kwaśnych (HF, HCl oraz SO₃).

Badania uwzględniały wpływ wilgotności spalin, nadmiaru stechiometrycznego sorbentu Ca/S, powierzchni właściwej sorbentu, stężenia dwutlenku siarki, koncentracji zapylenia oraz wpływ obecności chlorowodoru i popiołu lotnego na proces odsiarczania.

Ilościowy wpływ wybranych parametrów na skuteczność odsiarczania, dla Ca(OH)₂ jako sorbentu przedstawiono w postaci równań empirycznych opisujących skuteczność procesu odsiarczania [1] w dwóch zakresach końcowej temperatury spalin.

$$\eta_{SO_2} = 1 - \exp\left(-1,5 \cdot \Delta T^{-0,5} \cdot a^{0,4} \cdot x_{HCl}^{0,04} \cdot \left(\frac{Ca}{S} \cdot k_{rec}\right)^{0,34}\right) \quad \text{dla } T < 373 \text{ K} \quad (1)$$

Zakres stosowalności równania (1):

$\Delta T = 10 \div 45 \text{ K}$, $a = 10 \div 21 \text{ m}^2/\text{g}$, $x_{HCl} = 1 \div 500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$,

$k_{rec} = 5 \div 100$, $Ca/S = 1,0 \div 1,25 \text{ mol}/\text{mol}$

Błąd korelacji $\delta = \pm 15\%$

$$\eta_{SO_2} = 1 - \exp\left(-0,07 \cdot \Delta T^{0,3} \cdot \left(\frac{Ca}{S} \cdot k_{rec}\right)^{0,4}\right) \quad \text{dla } T < 373 \text{ K} \quad (2)$$

Zakres stosowalności równania (2):

$\Delta T = 45 \div 250 \text{ K}$, $k_{rec} = 5 \div 100$, $Ca/S = 1,0 \div 1,25 \text{ mol}/\text{mol}$

Błąd korelacji $\delta = \pm 5\%$

W trakcie badań w całym zakresie zmienności parametrów procesowych potwierdzono wysokie skuteczności usuwania pozostałych zanieczyszczeń kwaśnych:

- skuteczność usuwania chlorowodoru (HCl) >95%
- skuteczność usuwania fluorowodoru >85% dla stężeń HF w spalinach <50 mg/Nm³
- skuteczność usuwania trójtlenku siarki >90% dla stężeń SO₃ w spalinach <50÷250 mg/Nm³

Opisane powyżej badania posłużyły do zaprojektowania przemysłowej instalacji odsiarczania spalin z reaktorem pneumatycznym w ZEC Łódź o wydajności 550 000 nm³/h. Projekt zakładał zastosowanie reaktora pneumatycznego o kształcie cylindrycznym poprzedzonego przewężeniem w formie zwężki Venturiego mającej na celu wyrównanie profilu prędkości.

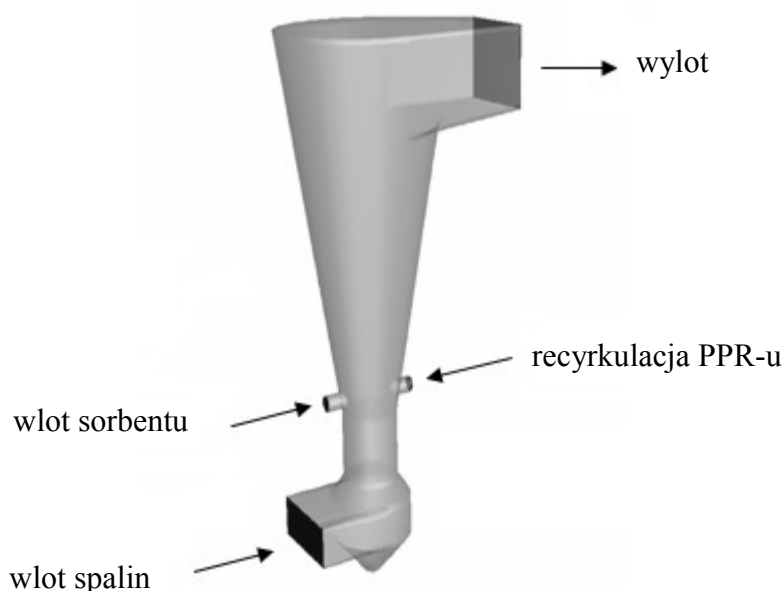
Zrealizowany reaktor pneumatyczny o geometrii jw. umożliwiał uzyskanie zakładanych parametrów procesowych, jednak w trakcie długotrwałej eksploatacji wykazywał pewne niedogodności związane z nierównomiernym profilem prędkości. Dodatkowo przy mniejszych obciążeniach występowały skłonności do tworzenia na ściankach reaktora

nawisów produktów odsiarczania.

W celu rozszerzenia możliwości aplikacyjnych oraz wyeliminowania opisanych niedogodności rozpoczęto poszukiwania mające na celu, w oparciu o dotychczas posiadane doświadczenia, opracowanie nowej konstrukcji reaktora. Dodatkowym celem opracowania nowej konstrukcji reaktora było uzyskanie wyższych efektywności procesu odsiarczania oraz ograniczenie kosztów inwestycyjnych, i eksploatacyjnych instalacji odsiarczania.

W celu określenia optymalnego kształtu reaktora, przeprowadzone zostały dodatkowe badania laboratoryjne. Pozwoliły one na określenie geometrii reaktora umożliwiającego wytworzenie odpowiedniej dla procesu odsiarczania koncentracji sorbentu w całej objętości reaktora.

Istota rozwiązania polegała na tym, że poprzez odpowiednie ukształtowanie geometrii reaktora w formie odwróconego stożka ściętego, uzyskano odpowiednie ukierunkowanie przepływu spalin wlotowych w sposób umożliwiający wyrównanie profilu prędkości oraz uzyskanie wewnętrznej cyrkulacji sorbentu w obrębie reaktora.

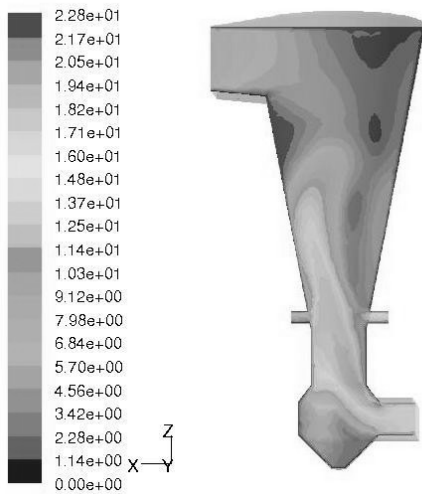


Rys.1 Geometria reaktora pneumatycznego

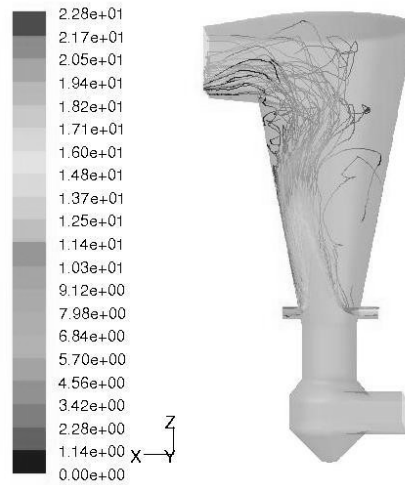
Wewnętrzna cyrkulacja transportowanego aerozolu generowana jest w osi pionowej reaktora w szerokim zakresie zmienności przepływu spalin. Położenie wiru wewnętrznej cyrkulacji jest związane ze specyficzną ściśle określoną geometrią kształtu aparatu. Dodatkowo, duże szybkości spalin w warstwie przyściennej nie pozwalają na tworzenie się nawisów i narostów, oraz powodują samooczyszczanie się ścian reaktora. Rozwiązanie to przyczynia się do zmniejszenia koncentracji pyłu w odprowadzonych spalinach, przez co możliwe jest stosowanie odpylaczy o mniejszych gabarytach lub zwiększenie stężenia reagentów w reaktorze.

Obliczenia CFD wykorzystano do symulacji przepływu oraz jako narzędzie ilustrujące proces powiększania skali. Poniżej na rysunkach 2÷5 przedstawiono rozkłady prędkości średnich w aparacie dla $w=15$ na wlocie i różnych średnic d_{p3} 70 μm i $d_{p3}=10\mu\text{m}$ Ostatecznie

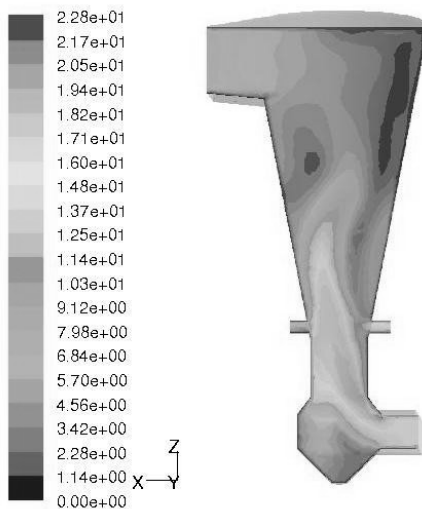
w oparciu o te obliczenia RAFAKO S.A. zdecydowało się na wdrożenie badanego reaktora co zaowocowało trzema wdrożeniami.



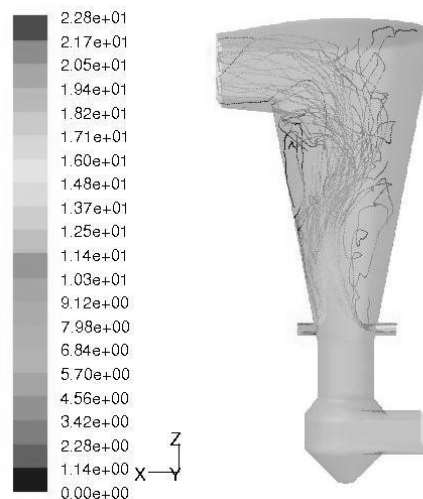
Rys.2 Rozkład prędkości średnich $w=15,0$ m/s



Rys.3 Trajektorie i prędkości cząstek sorbentu $d_{p3}= 70\mu\text{m}$



Rys.4 Rozkład prędkości średnich $w=15,0$ m/s



Rys.5 Trajektorie i prędkości cząstek sorbentu $d_{p3}= 10\mu\text{m}$

Uzyskiwany w praktyce efekt odsiarczania tej technologii jest lepszy niż uzyskany w trakcie badań laboratoryjnych oraz w wyniku obliczeń CFD. Aktualnie prowadzone są szczegółowe badania na eksploatowanych obiektach rzeczywistych zmierzające do walidacji posiadanych modeli oraz rozszerzenia zastosowań analizowanego reaktora o technologie oczyszczania spalin ze spalarni odpadów.

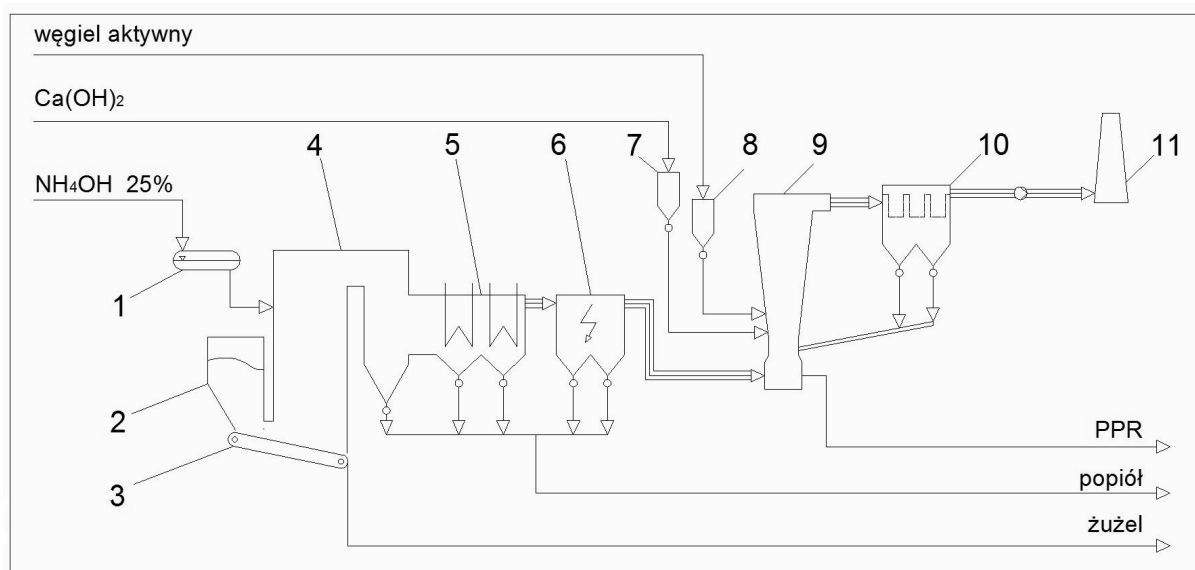
Analizowany reaktor pneumatyczny w stosunku do innych znanych i stosowanych w technice oczyszczania spalin ze spalarni odpadów rozwiązań charakteryzuje się znacznie większym stopniem wykorzystania sorbentu. Nadmiary stechiometryczne w wyniku wielokrotnej cyrkulacji sorbentu w reaktorze zbliżone są do stechiometrii co w stosunku do reaktora rozpyłowego związane jest z generowaniem dwukrotnie mniejszego strumienia odpadu.

6. Wybór optymalnej technologii oczyszczania

Wskazanie jednoznacznie optymalnej technologii nie jest możliwe, niemniej jednak współczesna instalacja oczyszczania spalin powinna:

- wykorzystywać (tzw. metody pierwotne) procesy ograniczające tworzenie związków wielkocząsteczkowych poprzez: odpowiedni dobór komory spalania i dopalania, dobór paliw o odpowiedniej zawartości chloru i siarki, dozowanie addytywów redukujących emisję tlenków azotu i powstawanie PCDD/F (technologia SNCR)
- w minimalny sposób obciążać środowisko naturalne, dobre technologie powinny w sposób kompleksowy utylizować generowane odpady, nie zaś zamieniać je na inne ilościowo czy też doprowadzać do powstawania trudnych do utylizacji odpadów niebezpiecznych.
- charakteryzować się szybką stopą zwrotu inwestycji gwarantującą uzyskanie kredytowania każdorazowo należy uwzględniając koszty eksploatacyjne, koszty remontowe, koszty zagospodarowania odpadów.

Opracowywane ostatnio analizy oraz przygotowywane zapytania ofertowe wskazują na zainteresowanie pól suchą technologię oczyszczania wraz z węzłami SNCR i dozowaniem pylistego węgla aktywnego. Poniżej na rysunku zaprezentowano przykładowy schemat technologiczny spalarni odpadów wraz z węzłem oczyszczania spalin.



1. SNCR, 2. Palenisko, 3. Ruszt, 4. Komora dopalania, 5. Kocioł, 6. Elektrofiltr, 7. Zbiornik sorbentu, 8. Zbiornik adsorbentu, 9. Reaktor pneumatyczny (oczyszczanie spalin) 10. Filtr tkaninowy, 11. Komin

Rysunek 6. Oczyszczanie spalin ze spalarni odpadów

Stały rozwój pól suchych technologii oczyszczania spalin związany z powstawaniem nowych efektywnych reaktorów kompleksowo i efektywnie oczyszczających spaliny oraz rozwój technologii utylizacji odpadów i niski koszt inwestycyjny, stwarzają szansę na liczne aplikacje tej technologii w warunkach Polskiej gospodarki odpadami.

Dodatkowo aktualnie eksploatowana jedyna w Polsce spalarnia odpadów w Warszawie, zrealizowana została również w oparciu o pól suchą technologię oczyszczania spalin.

6. Podsumowanie i wnioski

6.1 Podsumowanie

W referacie zaprezentowano porównawczą analizę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych omawianych technologii oczyszczania spalin. Na przykładzie półsuchej instalacji oczyszczania spalin wdrożonej w Elektrowni Skawina omówiono proces modelowania i optymalizacji kształtu reaktora pneumatycznego, odpowiedniego do zastosowań w półsuchych technologiach oczyszczania spalin ze spalarni odpadów: począwszy od badań laboratoryjnych poprzez półtechnikę do wdrożenia i badań homologacyjnych na eksploatowanym obiekcie. Dodatkowo wskazano optymalną dla warunków polskiej gospodarki odpadami technologię oczyszczania spalin.

6.2 Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy pracy dwóch uruchomionych instalacji z nowego typu reaktorem pneumatycznym stwierdzono, że badany reaktor może zastąpić dotychczas stosowany reaktor pneumatyczny gwarantując lepszy efekt odsiarczania.

Zastosowanie badanego rozwiązania pozwala na obniżenie kosztów inwestycyjnych reaktora do 40% oraz kosztów eksploatacyjnych w zakresie 10÷15%.

Uzyskane w trakcie eksploatacji IOS w Elektrowni Skawina wysokie skuteczności odsiarczania spalin na poziomie >98% wskazują na powstawanie w obrębie reaktora konturu wewnętrznej cyrkulacji.

Wskazaniem jest szczegółowe przebadanie wdrożonych w ostatnich miesiącach obiektów i walidacja dotychczasowych korelacji uzyskanych w wyniku badań laboratoryjnych oraz obliczeń CFD.

Opisany w referacie reaktor pneumatyczny w stosunku do innych stosowanych w technice rozwiązań charakteryzuje się dużym stopniem wykorzystania sorbentu co predysponuje go do zastosowań w technologiach oczyszczania spalin ze spalarni odpadów z uwagi na generowanie mniejszej ilości odpadów.

OZNACZENIA – SYMBOLS

η	- skuteczność odsiarczania	
c_p, c_k	- stężenia SO_2 , początkowe i końcowe,	mg/nm^3
Ca/S	- stosunek molowy reagentów odniesiony do całego strumienia SO_2 w spalinach, Ca/S ,	mol/mol
Δt	- różnica temperatur pomiędzy końcową temperaturą spalin i temperaturą adiabatycznego nasycenia spalin,.	K
a	- powierzchnia właściwa sorbentu,	m^2/g
c_{HCl}	- początkowe stężenia HCl , w spalinach,	mg/Nm^3

LITERATURA

1. Mokrosz W.: Odsiarczanie spalin w reaktorze pneumatycznym z recyrkulacją sorbentu. Weryfikacja modelu. Inż. Chem. Proc. 2004, 25, 1327
2. Fluent 6.3 documentation.