

THE POTENTIAL FOR OPTIMIZATION OF SPRAYING SCRUBBERS OPERATION, USED FOR DESULPHURIZATION OF FLUE GASES PRODUCED BY THE PROCESSES OF FUEL AND WASTE COMBUSTION

MOŻLIWOŚCI OPTYMALIZACJI SKRUBERÓW NATRYSKOWYCH STOSOWANYCH DO ODSIARCZANIA SPALIN EMITOWANYCH Z PROCESÓW SPALANIA PALIW I ODPADÓW

Wojciech Mokrosz

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

Summary

The paper presents exploitation experiences gained under implementation and operation of spraying scrubbers within power industry. The subject of the analysis includes theoretical and experimental analysis of SO₂ absorption process, carried out by means of the limestone suspension, as well as specification of routes for its optimization and the use of design reserve, of both newly designed and operating absorbers. The paper includes detailed analysis of selected parameters influence, in view of the reduction of both exploitation and investment costs of spraying absorbers, including the influence of: absorption zone height, pH of sorption solution, gas velocity, chlorines concentration, residence time of solution in the absorber sink, and sorbent grain size.

Streszczenie

W referacie omówiono doświadczenia eksploatacyjne zdobyte w trakcie wdrażania i eksploatacji skruberów natryskowych wykorzystywanych w energetyce. Przedmiotem opracowania jest teoretyczno-doświadczalna analiza procesu absorpcji SO₂ w zawiesinie kamienia wapiennego oraz wskazanie kierunków optymalizacji i wykorzystania rezerw projektowych eksploatowanych, i projektowanych absorberów natryskowych. W referacie szczegółowo przeanalizowano wpływ wybranych parametrów procesowych w aspekcie obniżenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych skruberów natryskowych, w tym: wpływ wysokości strefy absorpcji, pH zawiesiny sorpcyjnej, wpływ prędkości gazu, stężenia chlorków, wpływ czasu zatrzymania sorbentu w rzepi absorbera, wpływ średnicy ziarna sorbentu.

1. Wprowadzenie

Pomimo dużej liczby wdrożonych instalacji opartych o mokrą technologię odsiarczania spalin z sorbentem w postaci zawiesiny kamienia wapiennego stale trwają prace zmierzające do optymalizacji konstrukcji i rozwiązań absorberów oraz poszczególnych węzłów technologicznych. Zdecydowana większości nowo

budowanych obiektów energetyki zawodowej oparta o paliwa konwencjonalne; to wysokosprawne kotły nadkrytyczne dużej mocy z instalacją mokrego odsiarczania spalin. Dodatkowo nowo budowane obiekty przetwarzające energię posiadają rozbudowane węzły odzysku ciepła ze spalin kierowanych do procesów oczyszczania spalin a instalacje oczyszczania spalin osiągają sprawności nierzadko przekraczające 98%. Współcześnie realizowane absorbery do odsiarczania spalin umożliwiają bardzo głębokie usuwanie zanieczyszczeń kwaśnych. Stały wzrost skuteczności odsiarczania związany jest z ograniczeniem opłat za korzystanie ze środowiska, handlem emisjami a ostatnio coraz częściej z możliwością zabudowy w późniejszym czasie instalacji umożliwiającej sekwencjalną redukcję dwutlenku węgla. Kocioł nadkrytyczny eksploatowany z nadmiarem powietrza na poziomie 1,15 stwarza możliwość efektywnej absorpcji dwutlenku węgla, związane to jest jednak z koniecznością odsiarczania do poziomu poniżej 20 mg/nm³. Poniższe opracowanie oparte jest na badaniach zrealizowanych na podstawie pomiarów w obiektach energetyki zawodowej i ukazuje ono rezerwy technologiczne występujące niejednokrotnie w już eksploatowanych obiektach oraz wskazuje możliwości optymalizacji zarówno projektowanych, i eksploatowanych absorberów sodowych stosowanych do odsiarczania spalin.

2. Badania doświadczalne

Badania prowadzono w instalacjach laboratoryjnych oraz na rzeczywistych eksploatowanych w Europie (Polska, Czechy i Niemcy) instalacjach odsiarczania spalin [1]. Przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie charakterystyk eksploatacyjnych instalacji mokrego odsiarczania uwzględniających istotne parametry procesowe.

Badania uwzględniały wpływ: objętości strefy absorpcji, gęstości zraszania, nadmiaru stechiometrycznego sorbentu, prędkości gazu, stężenia dwutlenku siarki, pH zawiesiny sorpcyjnej, stopnia rozdrobnienia sorbentu oraz wpływ obecności chlorowodoru na proces odsiarczania.

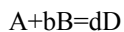
3. Model procesu absorpcji SO₂ w zawieszinie kamienia wapiennego

Do opisu procesu ruchu masy zastosowano model warstwy granicznej (filmowy) dla jednowymiarowego ruchu masy z towarzyszącą reakcją chemiczną szczegółowo opisany w literaturze [2,3]. Gęstość strumienia masy SO₂ po stronie gazu wyrażono jako iloczyn różnicy koncentracji i współczynnika wnikania masy β'_{Ag} po stronie gazu:

$$\dot{n}_A = \frac{d^2 n_A}{dt dF} = \beta'_{Ag} \cdot (y_A - y_{Az}) \quad (1)$$

gdzie: n_A oznacza ilość SO₂ przekazywaną w jednostce czasu dt przez element powierzchni dF oraz y_A i y_{Az} wyrażają odpowiednio stężenia SO₂ w rdzeniu spalin i na granicy faz.

Gęstość strumienia masy $\dot{n}_{SO_2,g}$ po stronie cieczy w przypadku natychmiastowej reakcji nieodwracalnej, typu:



w oparciu o założenia Hatty [2], wyrażono za pomocą równania:

$$\dot{n}_A = \beta'_{Ac} \cdot \left(x_{Az} + \frac{\delta'_B}{b \cdot \delta'_A} \cdot x_{Bc} \right) \quad (2)$$

przy czym koncentracja rozpuszczonego SO_2 w roztworze absorpcyjnym określana jest przez kinetykę reakcji chemicznych, towarzyszących procesowi absorpcji. Równanie przenikania masy można zapisać w następującej postaci:

$$\dot{n}_A = \frac{d^2 n_A}{dt \cdot dF} = k'_A \cdot \Delta \pi_{Ac} \quad (3)$$

w którym:

$$k'_A = \frac{1}{\frac{y_{im}}{\beta'_{Ag}} + \frac{K_y}{\beta'_{Ac}}} \quad (4)$$

$$\Delta \pi_{Ac} = y_A + \frac{\delta'_B}{\delta'_A} \cdot \frac{x_{Bc}}{b} \cdot K_y \quad (5)$$

Opisaną absorpcję SO_2 , której kinetykę określają przebiegające w fazie ciekłej reakcje chemiczne, można rozpatrywać z dostateczną dokładnością, przyjmując następujące założenia:

- po absorpcji fizycznej, następuje bardzo szybka nieodwracalna reakcja chemiczna pierwszego rzędu, warunek ten wymaga aby stężenie x_A spadło do zera tj. $x_{Ar}=0$, dodatkowo dla małych stężeń składnika A wartość $y_{im} \approx 1$,
- płaszczyna reakcji przesunięta jest do zwierciadła ($x_{Ar}=x_{Az}=0$), kryterium określającym granice zastosowania przyjętego założenia wg [2] jest krytyczna wartość stężenia reagenta fazy ciekłej:

$$x_{Bkr} = b \cdot \frac{\beta'_{Ag} \cdot \delta'_A \cdot y_A}{\beta'_{Ac} \cdot \delta'_B \cdot y_{im}} \quad (6)$$

Stężenie krytyczne maleje ze wzrostem temperatury co spowodowane jest silnym wzrostem β'_{Ac} przy prawie stałej wartości β'_{Ag} i zwykle dość zbliżonych wartościach współczynników dyfuzji obu reagentów w fazie ciekłej. Przy wartościach stężeń reagenta w cieczy, wyższych od stężenia krytycznego, reakcja przebiega na powierzchni rozdziału faz. W tym to przypadku wstawiając do równania (2) $x_{Az}=0$ oraz x_{Bkr} wg równania 6, otrzymujemy rozwiązanie jak dla przypadku absorpcji czysto fizycznej, dla której moduł napędowy osiąga wartość maksymalną tzn. stężenie składnika fazy gazowej na powierzchni międzyfazowej $y_{Az}=0$ i nie występuje opór wnikania w fazie ciekłej. Przy takich założeniach, proces wnikania masy po stronie spalin jest niezależny od procesów chemicznych i może być opisany w następujący sposób.

$$- \dot{n}_g \cdot dy_A = \beta'_{Ag} \cdot (y_A - y_{Az}) \cdot dF \quad (7)$$

Po rozdeleniu zmiennych (7) można rozwiązać przez całkowanie parametrów zmiennych w następujących granicach:

- powierzchnię międzyfazową $F \in (0 \dots F)$
- udział molowy $y_A \in (y_{A1} \dots y_{A2})$

$$\frac{\beta'_{Ag}}{n_g} \int_0^F dF = \int_{y_{A1}}^{y_{A2}} \frac{dy}{y_{Az} - y_{Az}^*} \quad (8)$$

Po rozwiązaniu całki przy założeniu $y_{Az}=0$ otrzymujemy:

$$N_{og} = - \int_{y_{A1}}^{y_{A2}} \frac{dy}{y_A - y_{Az}} = \ln \frac{y_{A1}}{y_{A2}} \quad (9)$$

Ostatecznie przy założeniu idealnej dystrybucji monodispersyjnych kropeł, dla wyrównanego pola prędkości, niskich stężeń dwutlenku siarki oraz spełnieniu warunku zaniku oporów wnikania masy w fazie ciekłej sprawność procesu absorpcji SO_2 wyrażono równaniem w postaci

$$\eta_{SO_2} = 1 - \exp\left(-\frac{\beta_{Ag} \cdot a \cdot p \cdot H_{abs}}{n_g}\right) \quad (10)$$

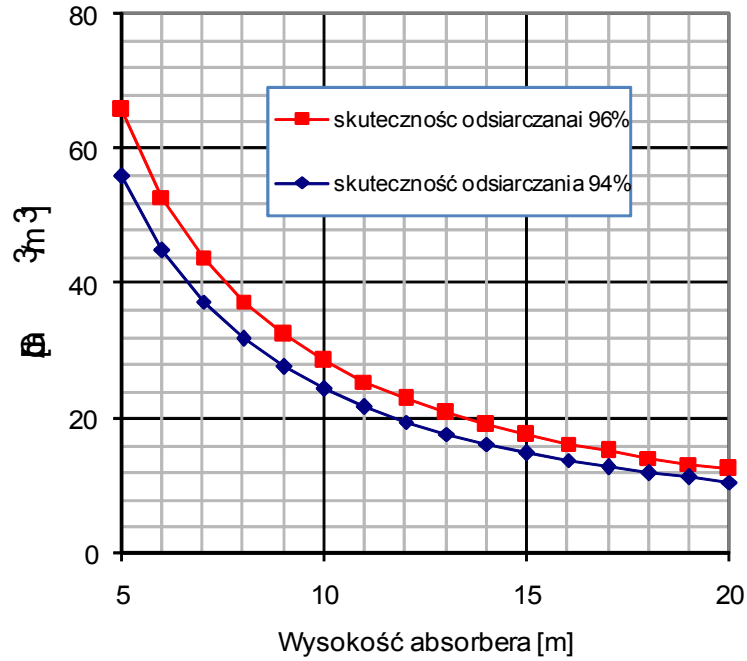
Wartość współczynnika wnikania masy określono empirycznie jako funkcję prędkości gazu, gęstości zraszania (stosunku L/G), średnicy kropeł oraz parametrów fizykochemicznych. Gęstość zraszania wyrażoną jako stosunek L/G zapewniający spełnienie warunku wg równania (6) określono empirycznie jako funkcję czasu retencji zawiesiny w absorberze, nadmiaru stechiometrycznego, stężenia jonów Cl^- oraz średnicy cząstek sorbentu.

4. Charakterystyki eksploatacyjne instalacji

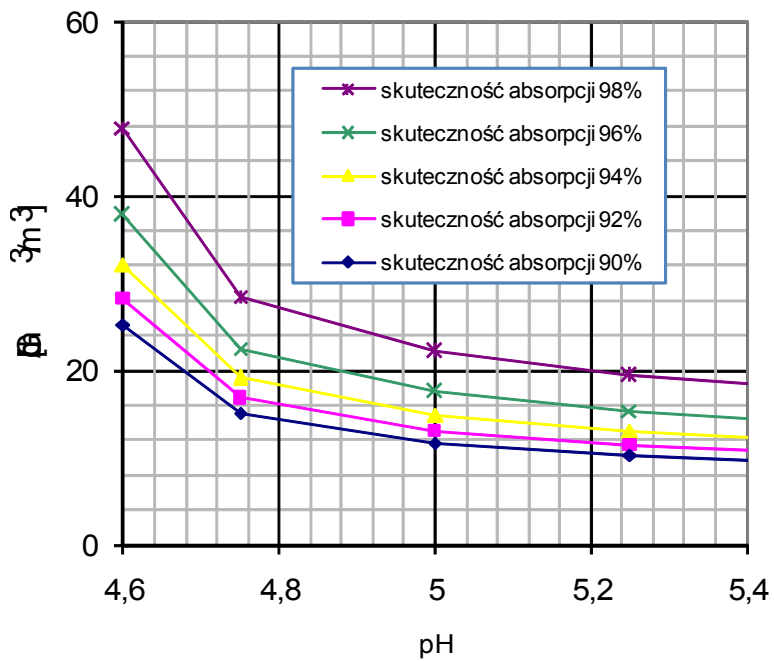
Poniżej na wykresach przedstawiono charakterystyki eksploatacyjne instalacji mokrego odsiarczania spalin. Większość danych stanowią pomiary eksploatacyjne pochodzące z obiektów energetyki zawodowej, niemniej jednak w celu pełnego zobrazowania charakteru procesu odsiarczania uzupełniono je o badania w skali ułamkowo technicznej.

Gęstość zraszania w mokrej technologii wapiennej wyrażana jest jako stosunek cyrkulowanej w obiegu absorbera zawiesiny sorpcyjnej wyrażonej dm^3 do strumienia oczyszczanych gazów wyrażanego m^3 w skrócie L/G (liquid/gas) [dm^3/m^3]. Jest ona jednocześnie kluczowym parametrem wpływającym na koszty eksploatacyjne procesu oczyszczania spalin. Wzrost wartości stosunku L/G przekłada się bezpośrednio na zużycie mocy pomp cyrkulacyjnych oraz opory przepływu przez absorber i zużycie mocy na przetłaczanie spalin. Poniżej na rysunku 1 zaprezentowano porównanie zależności L/G od wysokości strefy absorpcji dla dwóch różnych skuteczności odsiarczania, odpowiednio 94 i 96% i stałych wartości: pH=5 zawiesiny sorpcyjnej, średnicy kropeł $d_{32}=0,003m$ i prędkości spalin w absorberze 3 m/s. Analiza tego wykresu wskazuje, że korzystnym rozwiązaniem okazują się absorbery o wysokości strefy absorpcji w zakresie od 14 do 16 m. Odpowiada to odległości pomiędzy poziomami zraszania ok. 1,5 m. Ograniczanie wysokości strefy absorpcji skutkować będzie z jednej strony obniżeniem kosztów inwestycyjnych z drugiej zaś wpłynie na podwyższenie kosztów eksploatacyjnych związanych zarówno ze wzrostem wydajności pomp cyrkulacyjnych jak i ze wzrostem oporów przepływu spalin przez absorber.

Kolejny wykres rysunek 2 obrazuje wpływ pH zawiesiny sorpcyjnej na stosunek przepływu fazy ciekłej do gazowej dla różnych skuteczności odsiarczania spalin, średnicy kropeł cieczy $d_{32}=0,003m$, wysokości strefy absorpcji $H_{abs}=15m$ i stężenia początkowego SO_2 w spalinach $3500 mg/nm^3$. Wzrost pH zawiesiny skutkuje obniżeniem stosunku L/G. Można również zauważyć, że czym wyższa skuteczność odsiarczania tym wyższy wzrost wartości L/G.



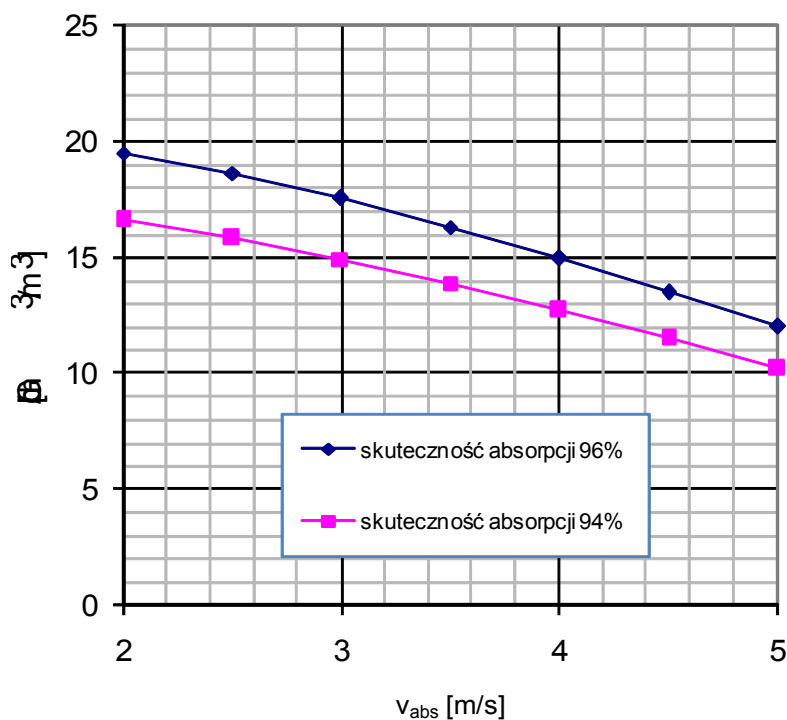
Rysunek 1. Stosunek L/G w funkcji wysokości strefy absorpcji dla $v_{\text{abs}}=3\text{m/s}$
Fig.1. L/G ratio as a function of the height of spraying scrubbers for $v_{\text{abs}}=3\text{m/s}$.



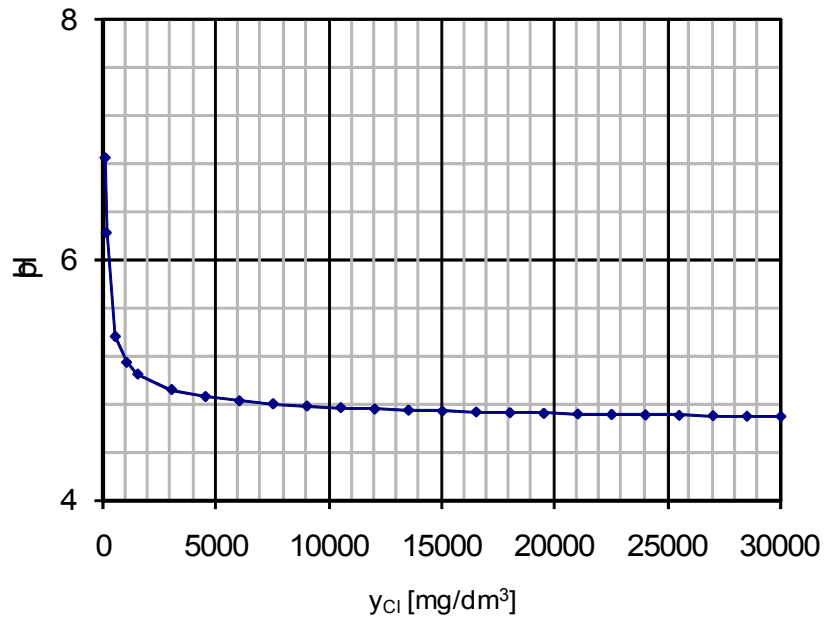
Rysunek 2. Stosunek L/G w zależności od pH zawiesiny
Fig.2. L/G ratio as a function of the suspension pH

Reasumując analiza wykresu pozwala zauważyć mniejszą wrażliwość procesu na zmiany pH w przypadku niższych skuteczności odsiarczania. Godnym uwagi jest nieproporcjonalny wzrost L/G przy wyższych skutecznościach odsiarczania. Szczególnie interesujący jest zakres niskich wartości pH w przedziale 4,75÷4,6 uwidacznia się tam duży wpływ pH na gęstość zraszania i/lub sprawność odsiarczania. Jednocześnie eksploatacja instalacji odsiarczania z zachowaniem niskich wartości pH gwarantuje uzyskanie dobrej jakości gipsu oraz eliminuje powstawanie kumulujących w absorberze struktur glinokrzemianowych. Dodatkowo niskie pH utrudnia absorpcję ditlenku azotu, która pomimo bardzo niewielkiej sprawności procesu powoduje przekroczenie dopuszczalnych stężeń azotanów i azotynów w emitowanych z instalacji odsiarczania ścieków.

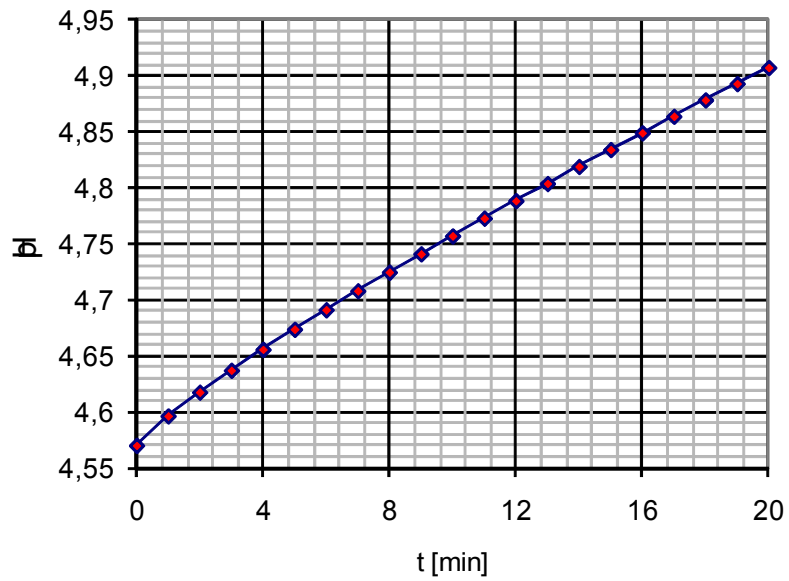
Następny wykres rysunek 3 przedstawia wpływ prędkości gazu przepływającego przez absorber na wartość stosunku przepływu fazy ciekłej do gazowej L/G dla dwóch różnych skuteczności odsiarczania, odpowiednio 94 i 96%. Wykres ten obrazuje wpływ burzliwości procesu przejawiający się obniżeniem gęstości zraszania, na skutek wzrostu współczynnika wnikania masy po stronie gazu. Dodatkowo można zauważyć spadek L/G wraz ze zmniejszaniem się skuteczności odsiarczania spalin. Należy jednak stanowczo podkreślić, że taki wzrost burzliwości związany jest również ze wzrostem oporów przepływu który każdorazowo powinien być brany pod uwagę. Dodatkowo wzrost prędkości gazu związany jest z obniżeniem skuteczności separacji kropeł. Zwykle jednak prędkość spalin w tego typu absorberach oscyluje wokół wartości 4 m/s.



Rysunek 3. Stosunek L/G w zależności od prędkości gazu
Fig.3. L/G ratio as a function of the gas velocity



Rysunek 4. pH w zależności od stężenia Cl⁻ w zawieszynie
Fig. 4. pH as a function of the concentration Cl⁻ in suspension



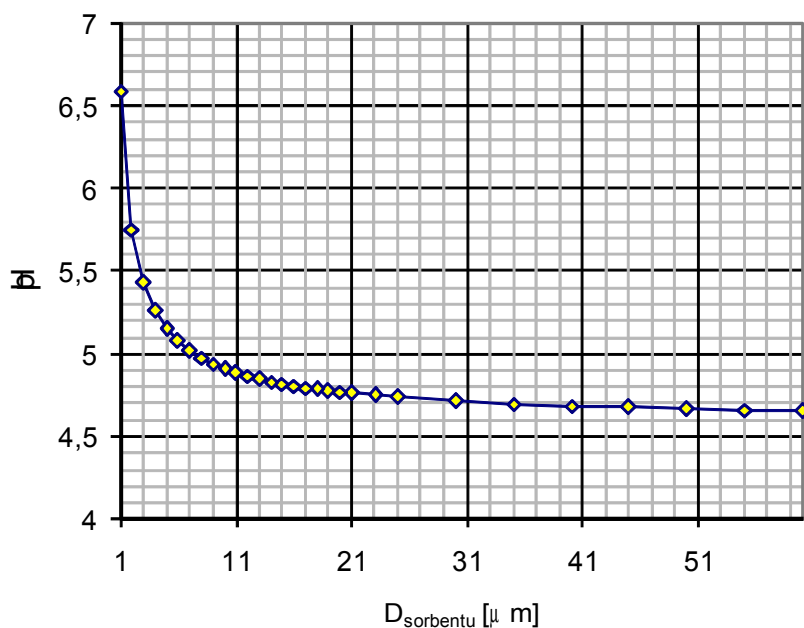
Rysunek 5. pH zawiesziny w zależności od czasu retencji
Fig. 5. Suspension pH as a function of the retention time

Wykres rysunek 4 przedstawia wpływ stężenia jonów chlorkowych na pH zawiesiny sorpcyjnej. Zasadniczo w całym zakresie zmienności wpływ ten jest znikomy. Jedynie dla bardzo małych stężeń poniżej 100 mg/dm^3 obserwowany jest wzrost pH. Należy jednak pamiętać że stężenie jonu chlorkowego w obiegu absorbera nie powinno przekraczać wartości 30 g/dm^3 .

Na wykresie rysunek 5 przedstawiono wpływ czasu zatrzymania sorbentu w retencyjnej części absorbera (tzw. rząpiu) na wartość pH zawiesiny sorpcyjnej dla średnicy ziarna sorbentu $40 \mu\text{m}$, stężenia chlorków w roztworze $y_{\text{Cl}}=30000 \text{ mg/l}$ oraz nadmiaru stechiometrycznego sorbentu 1,05. Można zauważyć, że czym dłuższy czas retencji zawiesiny w rząpiu, tym pH zawiesiny wzrasta. Aby otrzymać pH zawiesiny w granicach 4,69-4,75 należy zatrzymać sorbent na 6-9 minut w rząpiu. Powyżej tego czasu zaczyna przyrastać stężenie jonów OH^- co może być powodem powstawania struktur glinokrzemianowych blokujących rozpuszczalność kamienia wapiennego.

Należy zauważyć, że przedstawiona na wykresie rysunek 5 charakterystyka zależy od reaktywności sorbentu, stosowanego nadmiaru stechiometrycznego i stopnia przemiału sorbentu. Przykładowo typowy czas zatrzymania dla kamienia wapiennego wynosi 6 min, zaś dla wapna 3 min.

Kolejnym istotnym parametrem procesowym jest przemiał sorbentu, wpływa on na szybkość jego rozpuszczania co skutkuje podwyższeniem pH zawiesiny. Graficznie wpływ ten zobrazowano na wykresie, rysunek 6, przedstawiającym wpływ rozdrobnienia na uzyskiwaną wartość pH zawiesiny. Szczególnie interesujące efekty obserwowane są przy stosowaniu rozdrobnienia poniżej $10 \mu\text{m}$ co uwidacznia zakrzywienie charakterystyki dla małych cząstek. Stosując sorbenty o większym stopniu przemiału można zredukować wymiary absorbera lub zwiększyć skuteczność procesu odsiarczania.



Rysunek 6. pH zawiesiny w zależności od wielkości ziarna
Fig. 6. Suspension pH as a function of the grain size.

4. Współczesne kierunki optymalizacji skrubców natryskowych

Głębokie odsiarczanie spalin - przygotowanie spalin do absorpcji CO₂

Aktualnie w Polsce i na świecie są eksploatowane instalacje osiągające skuteczność do 98% niemniej jednak obserwuje się zainteresowanie inwestorów instalacjami umożliwiającymi osiągnięcie emisji SO₂ na poziomie 20 mg/Nm³ co odpowiada skuteczności >99,5%. Skuteczność odsiarczania w metodzie mokrej zależy od wielu parametrów takich jak: generowana powierzchnia wymiany masy, pH zawiesiny sorpcyjnej, wielkość cząstek sorbentu, reaktywność sorbentu, zawartość zanieczyszczeń np. jonów chlorkowych Cl⁻ siarczanowych SO₄²⁻, glinokrzemianów itd. Reasumując w celu uzyskania wysokich sprawności należy zagwarantować spełnienie warunku zaniku oporu wnikania masy w fazie ciekłej oraz zapewnić odpowiednią objętość reakcyjną w obrębie absorbera.

Wzrost skuteczności odsiarczania osiąga się zwykle poprzez: zabudowę kolejnych poziomów zraszania i zwiększenie stosunku L/G lub dodawanie środka buforującego np. kwasu adypinowego oraz przez zastosowanie sorbentów o wysokim stopniu przemiału poniżej 10 μm.

Na rysunku 7 zaprezentowano rozwiązanie absorbera natryskowego umożliwiającego odsiarczanie 1 300 000 Nm³/h spalin emitowanych z kotła nadkrytycznego o mocy 480 MW_{el} od 3500 mg SO₂/Nm³ do poziomu <20 mg SO₂/Nm³. Absorber umożliwia osiągnięcie skuteczności 99,5% bez dodatku środków buforujących oraz stosowania sorbentów o zwiększonym przemiale. W przypadku odsiarczania spalin j.w. do poziomu 200 mg SO₂/Nm³ absorber wyposażony byłby jedynie w cztery poziomy zraszania co skutkowałoby obniżeniem jego kosztów inwestycyjnych o około 15%.

Możliwości optymalizacji parametrów eksploatacyjnych absorberów

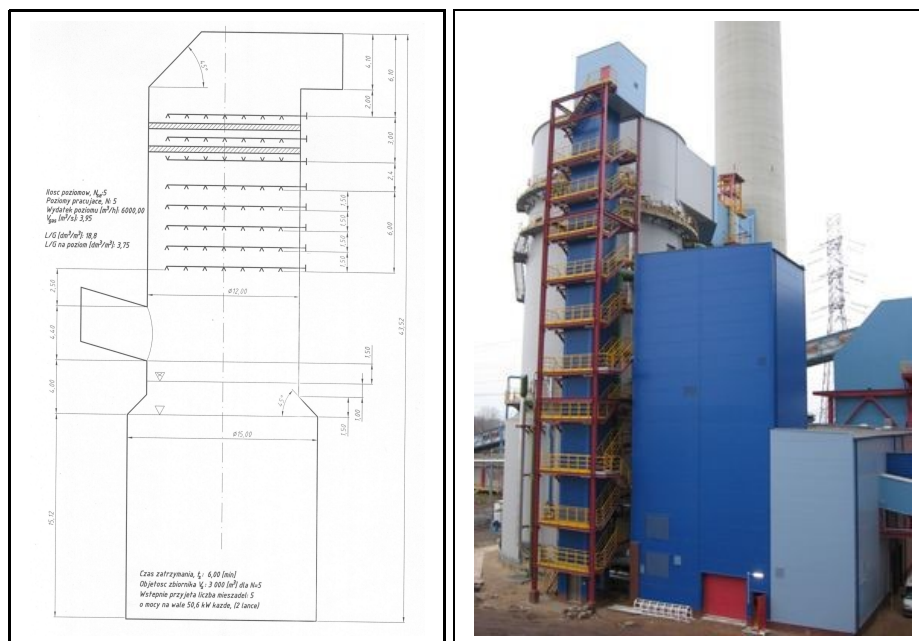
Mając na uwadze zaprezentowane wyniki badań istnieje wiele możliwości optymalizacji pracy absorberów. Istotnym czynnikiem jest więc ich wnikliwa analiza. Wiele instalacji zostało zaprojektowanych do oczyszczania spalin ze spalania węgla o wysokiej zawartości siarki, jednak często w obecnych warunkach eksploatowane są przy dużo niższym stężeniu dwutlenku siarki. Stan taki umożliwia wyłączenie z eksploatacji np. jednego poziomu zraszania co związane będzie z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych lub odsiarczaniem ze zwiększoną sprawnością i obniżeniem opłat za emisją zanieczyszczeń.

Często też obserwuje podwyższenie pH zawiesiny sorpcyjnej przekładające się na wzrost skuteczności odsiarczania i nagły spadek jakości gipsu. Fakt związany z zachwianiem równowagi utleniania siarczynu do siarczanu i przesunięciem równowagi metastabilnej w kierunku krystalizacji gipsu w formie trudno odwadnianych struktur igielkowych. Sposobem przeciwdziałania takim niekorzystnym zjawiskom jest zwykle obniżenie pH zawiesiny sorpcyjnej. Dodatkowo należy wskazać, że przewymiarowane absorbery doskonale nadają się do utylizacji produktów odsiarczania spalin z półsuchej technologii oczyszczania spalin. Utylizowany w ten sposób produkt poreaekcyjny wpływa na obniżenie zużycia sorbentu oraz pozwala na wzrost produkcji poszukiwanego na rynku gipsu spalinowego. Praktyki takie stosowane są np. w El. Jaworzno III, El. Dolna Odra i wielu innych.

Każdorazowo wzrost skuteczności odsiarczania można osiągnąć poprzez zastosowanie sorbentów o większym stopniu przemiału oraz poprzez dozowanie

środków buforujących np. kwasu adypinowego. Zastosowanie kwasu adypinowego umożliwia podwyższenie sprawności IOS w zakresie 2÷4%. Zużycie kwasu związane jest z utrzymaniem w obrębie absorbera jego stężenia na poziomie 250÷300 mg/dm³

Proces mokrego odsiarczania spalin jest jednak złożonym procesem współzależnych równowag i wszelkie zmiany parametrów procesowych oraz jakości stosowanych do odsiarczania mediów mogą skutkować różnymi reakcjami obserwowanymi zwykle po upływie od kilku dni do kilku miesięcy.



Rysunek 7. Widok absorbera natryskowego
Fig.7. View of the flue spraying scrubbers

Rekuperacja ciepła

Spaliny kierowane do instalacji odsiarczania spalin posiadają zwykle temperaturę 130°C w przypadku gdy nie są one wykorzystywane do podgrzewania spalin kierowanych do komina stanowią one zagrożenie dla wykładziny absorbera. Dodatkowo kontakt spalin z zawieszoną sorpcyjną sprawia, że osiągają one temperaturę punktu rosy 55÷70°C w zależności od rodzaju paliwa, a ich ciepło jest bezpowrotnie tracone na odparowanie wody.

W ostatnich latach coraz częściej aplikowane są układy rekuperacji ciepła wykorzystujące ciepło spalin np. do podgrzewania kondensatu (El Schwarze Pumpe), do podgrzewania powietrza doprowadzanego do podgrzewacza LUVO (El Łagisza, El Nideraussem). Rozwiązania takie w znacznym stopniu podwyższają sprawność bloku w zakresie od 0,5÷1%. Wartość ta przekłada się na 25÷50% kosztów eksploatacyjnych oczyszczania spalin. Poniżej na rysunku 7 przedstawiono schemat takiej instalacji.

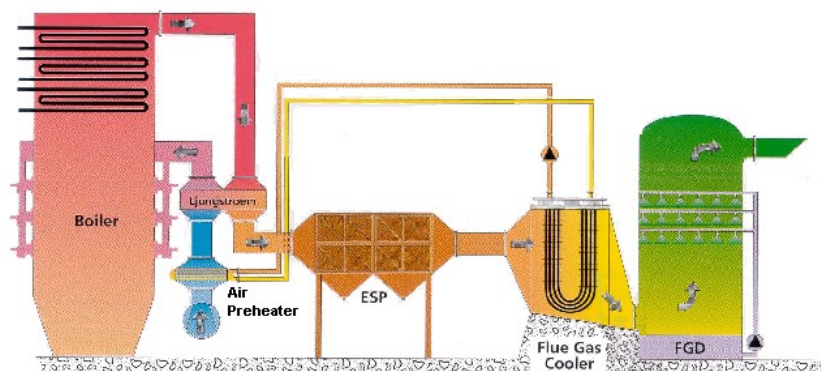
5. Podsumowanie

Większość obecnie eksploatowanych instalacji mokrego odsiarczania posiada spore rezerwy umożliwiające zwiększenie skuteczności odsiarczania spalin lub ograniczenie zużycia mocy.

Często też występują dogodne warunki do utylizacji produktów z półsuchych technologii odsiarczania spali.

W opracowaniu przeanalizowano wiele parametrów wpływających zarówno na wzrost skuteczności odsiarczania spalin jak i obniżenie kosztów eksploatacyjnych.

Wskazano również na możliwości wykorzystania ciepła spalin kierowanych do procesu mokrego odsiarczania.



Rysunek 8. Widok instalacji odsiarczania spalin z rekuperacją ciepła
Fig.8. View FGD with flue gas cooler

6. Wnioski

Wzrost prędkości przepływu spalin przez absorber skutkuje wzrostem skuteczności odsiarczania związanym ze wzrostem burzliwości. Fakt ten jest jednak silnie związany ze wzrostem oporów przepływu i koniecznością spełnienia warunku zaniku oporu wnikania w fazie ciekłej. W związku z powyższym wykorzystanie tej zależności, każdorazowo dla indywidualnego projektu powinno być poprzedzone optymalizacją parametrów eksploatacyjnych.

Duży wpływ na wartość pH zawiesiny sorpcyjnej ma czas zatrzymania sorbentu w rzepiu absorbera.

Stężenie jonu chlorkowego w roztworze zawiesiny w przedziale 50-1000 mg/l powoduje jedynie spadek pH zawiesiny sorpcyjnej i wzrost szybkości roztwarzania kamienia wapiennego. Dalszy wzrost stężenia jonu chlorkowego do 30g/l nie posiada wpływu na proces odsiarczania, powyżej tego stężenia jon chlorkowy musi być usuwany z procesu z uwagi na obniżanie skuteczności odsiarczania spalin.

Stosowanie do odsiarczania sorbentów silnie rozdrobnionych pozwala na znaczne zwiększenie szybkości ich roztwarzania. Efektem ich stosowania jest szybki wzrost pH, zatem stosowanie tego typu sorbentu pozwoli na zmniejszenie czasu retencji

w rzępi absorbera oraz obniżenie gęstości zraszania co wpłynie na obniżenie kosztów związanych z recyrkulacją zawiesziny w obiegu absorbera oraz obniżenie kosztów inwestycyjnych (eliminacja jednego poziomu zraszania, pompy obiegowej oraz zmniejszenie gabarytów absorbera.

oznaczenia - symbols

a	-powierzchnia właściwa dyspersji kropeł	m^2/m^3
f	- powierzchnia przekroju kolumny	m^2
F	- powierzchnia wymiany masy	m^2
g	- prędkość masowa	kg/m^2s
H	- Stała Henry'ego	Pa
k_A	- współczynnik przenikania masy	$kmol/m^2s$
$K_y=y^*/x$	- stała równowagi	
n_A	- natężenie przepływu	$kmol/m^2s$
t	- czas	s
x_A	- koncentracja składnika A	$kmolA/kmol$
y_A	- udział molowy składnika A w fazie gazowej	$kmol A/kmol$
v_{abs}	-prędkość gazu odniesiona do pustego przekroju	m/s
N_{og}	- liczba jednostek przenikania masy	
H_{abs}	-wysokość strefy absorpcji	m
p	- ciśnienie statyczne w absorberze	Pa
L/G	- ilość cyrkulującej/ $1m^3$ oczyszczanych spalin	dm^3/m^3
Symbole greckie		
β'_A	- współczynnik wnikania masy	$kmol/m^2s$
δ_A	- dynamiczny współczynnik dyfuzji składnika A	$kmol/m.s$
η	- skuteczność procesu absorpcji	
$\Delta\pi_A$	- moduł napędowy	

Indeksy

A,B	- odnosi się do składników A,B
c	- faza ciekł
g	- faza gazowa
i	- inerty
r	- dot. płaszczyzny reakcji
kr	- wielkość krytyczna
m	- wartość średnia
z	- dot. zwierciadła

Literatura

- [1] W. Mokrosz, B.Solich: „Badania procesu mokrego odsiarczania w absorberach natryskowych” Materiały Steinmuller A.G. zebrane w latach 1994÷2002 Praca niepublikowana.
- [2] T.Hobler: „Dyfuzyjny ruch masy i absorbery”, Wyd. II, WNT, Warszawa 1976
- [3] J.Hehlmann, W.Mokrosz: Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 3, 1996.