Marek Wiśniewski, Jan Ciecieląg

Analiza niesprawności urządzeń odsiarczania

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.483
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówiony został zarys problemów eksploatacyjnych instalacji odsiarczania spalin metodą mokrą w elektrowni węglowej na węgiel kamienny.

Słowa kluczowe: odsiarczanie spalin, absorber, pompa.

Wstęp

Maszyny, urządzenia energetyczne oraz całe obiekty technologiczne, które są elementami systemu energetycznego, po przepracowaniu określonego czasu wymagają przeglądów eksploatacyjnych, remontów i napraw. Sprawne urządzenia na instalacjach odsiarczania spalin bezpośrednio wpływają na nasze zdrowie, gdyż od tego czy te obiekty i jak pracują zależy jakość powietrza, którym wszyscy oddychamy.

Przedmiotem pracy są zagadnienia związane z prawidłową eksploatacją instalacji odsiarczania spalin oraz utrzymaniem w sprawności poszczególnych urządzeń zainstalowanych na ciągach technologicznych bloków energetycznych elektrowni węglowych.

Celem pracy jest analiza i ocena realizowanych rozwiązań technicznych na instalacjach służących do oczyszczania spalin ze związków siarki w poszczególnych elektrowniach systemowych. W niniejszej pracy podjęto również próbę opracowania rozwiązań zwiększających żywotność i bezawaryjność maszyn i urządzeń przedmiotowych instalacji oraz ich wpływ na sprawność i skuteczność procesu oczyszczania spalin ze związków siarki.

1 Analiza stanu ograniczania emisji dwutlenku siarki.

1.1 Obowiązujące akty prawne w zakresie odsiarczania spalin.

Pierwszym dokumentem międzynarodowym, który został podpisany przez Polskę, a który określa zasady współpracy w dziedzinie ograniczenia zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery była Konwencja Genewska z 13.11.1979r.[1]. Dokument ten wszedł w życie 16.03.1983r., a w Polsce zaczął obowiązywać od 17.10.1985r.

Następnym obok Konwencji Genewskiej dokumentem zawierającym wytyczne odnośnie ograniczenia emisji dwutlenku siarki jest tzw. Pierwszy Protokół Siarkowy. Został on podpisany w 1985r. w Helsinkach przez dwadzieścia jeden państw, po czym po ratyfikowaniu go przez szesnaście państw wszedł w życie od 02.09.1987r. i obowiązywał do 1993r.

Pierwszy Protokół Siarkowy odnosił się do ograniczenia emisji dwutlenku siarki o 30% jednak nie później niż do 1993r. w odniesieniu do 1980r. jako bazowego. Polska, USA, Wielka Brytania i poszczególne kraje Europy Południowej nie przyjęły zobowiązań ograniczenia o 30% emisji SO_2 do atmosfery. Opór poszczególnych krajów w podpisaniu tego dokumentu ściągnął falę krytyki ze strony opinii międzynarodowej na ówczesne władze. W 1990r. w Polsce powstały pierwsze regulacje prawne dotyczące wymogów emisyjnych związanych z energetycznych spalaniem paliw w instalacjach technologicznych. Wymagania Pierwszego Protokołu Siarkowego zostały osiągnięte w kraju w 1992r. Przyczyniło się do tego dokonanie inwestycji ekologicznych takich jak odsiarczanie spalin, wzbogacanie węgla i instalacje kotłów fluidalnych. Inwestycje te związane bezpośrednio z dostosowaniem do obowiązujących norm emisji dwutlenku siarki zawartych w Dzienniku Ustaw Dz.U. Nr 15 z marca 1990r. pozwoliły Polsce na spełnienie wymaganych kryteriów zawartych w Pierwszym Protokole Siarkowym.

Kolejnym dokumentem regulującym standardy emisyjne spalin był Drugi Protokół Siarkowy. Został on podpisany 14.06.1994r w Oslo i wszedł w życie 05.08.1998r. Dokument ten został przez Polskę podpisany lecz nie został ratyfikowany. Polska w tym czasie nie została stroną protokołów, lecz realizowała wynikające z dokumentu zobowiązania, składała i przekazywała wszelkiego rodzaju dane i sprawozdania, uczestniczyła czynnie w programie wspólnych prac badawczych i monitoringu [2].

Następnym dokumentem regulującym przepisy związane ze standardami emisji dwutlenku siarki w spalinach wylotowych jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2010/75/UE z 24.11.2010r. – nazwana Dyrektywą IED. Obowiązuje od 2011r i jest dokumentem wyznaczającym standardy emisyjne w Unii Europejskiej. Dostosowanie i wprowadzenie w życie przepisów związanych z obowiązywaniem Dyrektywy IED w Polsce, zostało uchwalone na podstawie Uchwały Rady Ministrów nr 50/2014 z 23.04.2014r. Komisja Europejska zatwierdziła dla Polski Przejściowy Plan Krajowy (PPK) na wprowadzenie i dostosowanie przepisów krajowych do Dyrektywy IED. Dyrektywy odnoszące się do emisji ze źródeł dużych instalacji spalania zwanych LCP, odwołują się do tzw. najlepszych dostępnych technik – tzw. BAT (ang. Best Available Technique). Stan techniki urządzeń i technologii jest definiowany dla różnych branż przemysłu wraz z odniesieniem do wymogów środowiskowych i jest on zawarty w tzw. dokumentach BREF . Decyzją Komisji Europejskiej czas na dostosowanie Polski do obowiązujących nowych przepisów zaostrzających wymogi w zakresie ochrony przed emisjami do atmosfery i dostosowaniem instalacji LCP będzie obowiązywał od 2021r.

Do PPK przystąpiło 47 zakładów energetycznego spalania paliw. Właściciele obiektów energetycznego spalania paliw, którzy przystąpili do PPK, niemogący spełnić zaostrzone wymagania związane z poziomami emisji, będą musieli ograniczać swoją produkcję lub będą musieli korzystać z pozostałych limitów innych obiektów w obrębie grupy kapitałowej, które posiadają skuteczniejsze instalacje odsiarczania spalin.

1.2 Analiza istniejących rozwiązań instalacji odsiarczania spalin.

Węgiel w Polsce nadal będzie podstawowym paliwem energetycznym. W przypadku eksploatacji instalacji odsiarczania spalin możliwym jest wykorzystanie gorszych gatunków węgla. Najlepsze węgle kamienne występujące w kraju zawierają 0,5-0,7% siarki elementarnej, natomiast w węglach najgorszych górna granica wynosi do 4,5% [3].

Metody odsiarczania gazów spalinowych można podzielić ze względu na poniższe kryteria:

- rodzaj procesu: absorpcyjne, adsorpcyjne i katalityczne,
- charakter procesu: regeneracyjne i nieregeneracyjne (odpadowe), mokre, suche i półsuche,
- rodzaj stosowanego sorbentu: wapniowe, magnezowe, amoniakalne, sodowe,
- produkt utylizacji: szlam posorpcyjny, gips, dwutlenek siarki, kwas siarkowy, siarczan amonowy, siarka elementarna.

Należy nadmienić, że każda z w/w metod odsiarczania może być sklasyfikowana jednocześnie wg różnych kryteriów.

Metody mokre wapniowe są najczęściej stosowane w przemysłowych instalacjach odsiarczania gazów odlotowych. Polegają na wiązaniu dwutlenku siarki z tlenkiem wapniowym, węglanem lub wodorotlenkiem wapnia. Proces odsiarczania metodą wapniową może być realizowany metodą mokrą, półsuchą lub suchą.

Sorbentem SO2 służącym do jego pochłaniania jest zawiesina wodorotlenku lub węglanu wapnia.

Sorbentem SO_2 służącym do jego pochłaniania jest zawiesina wodorotlenku lub węglanu wapnia. Pochłanianie dwutlenku siarki odbywa się wg poniższych równań:

$$Ca(OH)_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow CaSO_3 + 2H_2O \quad (1)$$

$$Ca(OH)_2 + SO_2 + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O \quad (2)$$

Proces pochłaniania SO2 w zawiesinie wodorotlenku wapnia powinien być wykonywany przy pH ok.8, natomiast w zawiesinie węglanu wapnia przy pH na poziomie 5,5. Istotne jest utrzymanie wartości pH w zakładanych poziomach wartości, gdyż ich niedotrzymanie, jest powodem tworzenia się twardych narostów gipsowych CaSO4 przy niskich wartościach pH. Powstające wówczas twarde osady znacznie przyczyniają się do blokowania poszczególnych węzłów instalacji, aparatury, zbiorników i innych urządzeń, co znacznie wpływa na niższą skuteczność całego procesu odsiarczania. W procesie odsiarczania metodą mokrą wapienną zasadniczą sprawą jest więc kontrola i utrzymanie pH na prawidłowym dla procesu poziomie. Zmienne obciążenie spalin dwutlenkiem siarki wpływa znacząco na wahania wartości pH zawiesiny procesowej. Czynnikiem zaradczym przeciwdziałającym procesowi zarastania poszczególnych elementów instalacji jest zabieg dozowania kwasu mrówkowego, adypinowego lub benzoesowego.

Metoda mokra wapniowa ze względu na dosyć niskie koszty budowy i eksploatacji, znalazła powszechne zastosowanie w krajowej i światowej energetyce zawodowej. Pomimo występujących problemów eksploatacyjnych, ale i równocześnie wysokiej skuteczności odsiarczania spalin, eksploatatorzy bardzo cenią sobie ten rodzaj instalacji odsiarczania gazów odlotowych.

Metoda półsucha odsiarczania spalin odlotowych polega na suszeniu rozpyłowym, gdzie w trakcie przebiegu procesu dochodzi do jednoczesnego pochłaniania dwutlenku siarki w kroplach roztworu zawiesiny substancji alkalicznej. W trakcie przepływu spalin przez suszarkę rozpyłową dochodzi do odparowania wody i następnie wytrącenia fazy stałej, która jest unoszona ze strumieniem oczyszczonego gazu. Pozostała część frakcji stałej odbierana jest z dolnej części urządzenia suszącego.

Na instalacji odsiarczania spalin metodą półsuchą rozróżniamy następujące etapy procesu:

- przygotowanie reagentu alkalicznego,
- dozowanie reagentu do suszarki,
- etap absorpcyjno-utleniająco-suszący, w którym SO2 absorbuje się na powierzchni kropel, wnika do ich wnętrza, utlenia się i reaguje z wodorotlenkiem wapnia Ca(OH)2 do postaci siarczynu i siarczanu wapnia. Po odparowaniu wody w suszarce, część produktu w postaci osadu stałego pozostaje na dnie suszarki,
- węzeł odpylający, w którym reszta produktu porywana strumieniem gazu zostaje wydzielona. Zalecane jest w tym etapie, ażeby temperatura gazów kierowanych do urządzenia odpylającego była o 10-20K wyższa od temperatury nasycenia gazu [3].

Najwyższą sprawność odsiarczania w metodzie półsuchej uzyskuje się, gdy czas przebywania gazu w suszarce rozpyłowej zawiera się w granicach 5-10s. Warunkiem uzyskania najwyższej sprawności odsiarczania jest konieczność całkowitego wymieszania strumienia gazu wlotowego z rozpylonym reagentem.

W metodach półsuchych odsiarczania stosuje się dwa rodzaje rozpylaczy: dyszowe i wirowe. Rozpylacze dyszowe mają tą zaletę, że zdecydowanie mniej się blokują osadami stałymi i nie trzeba stosować dodatkowych źródeł ciśnienia. Wyższą sprawność odsiarczania spalin uzyskuje się poprzez recyrkulację cząstek stałych, dzięki czemu powiększa się powierzchnia kontaktu reagentu i następuje szybsze tworzenie zarodków fazy stałej. Następstwem tego jest zwiększenie stopnia wykorzystania wodorotlenku wapnia. Sprawność odsiarczania w metodzie półsuchej dla danego stosunku związków CaO/SO_2 zależy w dużej mierze od różnicy temperatury wlotowej i wylotowej spalin oraz od różnicy temperatury spalin wylotowych i ich temperatury punktu rosy. Jeżeli znaczna część wilgoci przedostanie się do gazu w suszarce rozpyłowej, wówczas cząstki są dłużej wilgotne, co znacząco wpływa na poprawę skuteczności odsiarczania spalin.

Metoda sucha odsiarczania spalin polega na wiązaniu chemicznym dwutlenku siarki i przebiega w układzie ciało stałe – gaz w czasie spalania spalin.[3] Sorbentami najczęściej stosowanymi do tego procesu są wapienie i dolomity, ale także wodorotlenek wapniowy. Wymienione tu sorbenty po rozdrobnieniu wprowadzane są do strefy spalania ponad palniki pyłowe. Zmieszany ze spalinami sorbent w wysokiej temperaturze strefy spalania zamienia się do postaci tlenkowej.

Metody suche wapniowe odsiarczania spalin znajdują zastosowanie w małej i średniej wielkości źródeł emisji - rzędu 100-200 tyś. m3/h.

Zalety wykorzystania metody suchej odsiarczania spalin:

- niskie zużycie wody,
- ze względu na niskie zużycie wody – mniejsze zużycie energii elektrycznej,
- brak konieczności podgrzewu spalin,
- brak osadzających się związków powodujących korozję instalacji,
- brak składowania mokrych produktów odsiarczania spalin.

Wady suchej metody odsiarczania spalin:

- duże koszty stosowanego sorbentu,
- duże zużycie sorbentu,
- znaczne straty używanego w procesie sorbentu[4].

Metody sodowe odsiarczania spalin w światowej energetyce zyskały znaczną popularność. Jako reagentów używa się w nich związki sodu takie jak: Na2CO3, NaOH, CH3COONa. Do metod sodowych należą miedzy innymi metoda Wellman-Lorda i metoda octanowa. Stosowanie mokrych sodowych sposobów odsiarczania spalin, wpływa na niezawodność procesów odsiarczania ze względu na niskie wytrącanie się osadów stałych w części absorpcyjnej procesu, co znacząco wpływa na poprawę sprawności tych układów[3].

Metoda Wellman-Lorda jest regeneracyjną metodą odsiarczania gazów odlotowych, w której dwutlenek siarki jest absorbowany w roztworze siarczynu sodowego. Prowadzi to w efekcie do utworzenia kwaśnego siarczynu sodowego, który rozkłada się termicznie i w konsekwencji tego otrzymuje się siarczyn sodowy oraz strumień stężonego dwutlenku siarki. Odzyskany SO2 może być wykorzystany do produkcji kwasu siarkowego, siarki elementarnej lub może zostać poddany procesowi skroplenia.

Metoda Wellman-Lorda obejmuje zasadnicze węzły technologiczne:

- absorpcję SO2 ze spalin,
- obróbkę roztworów poabsorpcyjnych,
- odzysk SO2 połączony z regeneracją roztworu poabsorpcyjnego.

Zalety metody Wellman-Lord:
- uzyskiwanie wysokiej sprawności odsiarczania spalin – około 95%,
- brak wewnętrznego osiadania i blokowania aparatury procesowej,
- handlowe wykorzystanie usuniętego z procesu dwutlenku siarki.

Wady metody Wellman-Lord:
- konieczność usuwania nieaktywnych chemicznie soli – dodatkowy problem utylizacji,
- duża ilość niskociśnieniowej pary i energii elektrycznej konieczne do prawidłowego przebiegu procesu,
- konieczność dokładnego odpylenia gazów przeznaczonych do odsiarczenia [4].

Metoda amoniakalna Walther.Do metod amoniakalnych odsiarczania spalin odlotowych jako sorbentów używa się amoniak i związki amonowe – NH4OH, (NH4)2SO3. Produktem końcowym tego procesu jest zazwyczaj siarczan amonowy lub gips, pod warunkiem, że zastosowano regenerację roztworu poabsorpcyjnego i zawrócenie wodorotlenku amonowego do węzła absorpcyjnego. Otrzymany w procesie siarczan amonowy jest wykorzystywany w rolnictwie jako nawóz [3].

Produktem odsiarczania spalin metodą Walthera jest sproszkowany siarczan amonowy, który po poddaniu go dalszej przeróbce stanowi produkt handlowy w postaci granulatu wykorzystywanego jako nawóz w rolnictwie.

Metoda magnezowa zaliczana jest do metod regeneracyjnych odsiarczania spalin odlotowych. Polega ona na absorpcji dwutlenku siarki w zawiesinie wodorotlenku magnezu, po czym w wyniku tej reakcji tworzą się siarczyny oraz siarczany magnezu poddawane następnie regeneracji[3]. Metoda ta polega na termicznym rozkładzie produktów, czego wynikiem jest tlenek magnezu i dwutlenek siarki. Produktem odzysku dwutlenku siarki w postaci stężonego strumienia gazów (5-15% SO2 obj.), są surowce do produkcji kwasu siarkowego, siarki elementarnej lub skroplenia SO2, natomiast tlenek magnezu MgO jest wykorzystywany ponownie w procesie absorpcji. Procesy absorpcji i regeneracji produktów absorpcyjnych wykonuje się w oddzielnych węzłach technologicznych.

Zregenerowany tlenek magnezu jest zawracany powrotnie do obiegu po przejściu przez układ przygotowania absorbentu, gdzie dodatkowo zostają uzupełnione jego straty wynoszące około 5%.

Zalety metody magnezowej:
- rozpuszczalność produktów absorpcji nie powoduje zarastania i blokowania instalacji,
- pomijając popiół i zrzucane okresowo ścieki jest to metoda bezodpadowa,
- możliwość regeneracji zużytego absorbentu nie tylko w zakładzie macierzystym, ale również w peryferyjnych jednostkach,
- wysoka sprawność odsiarczania spalin – nawet do 99%.

Wady metody magnezowej:
- duża ilość energii pochłoniętej w wysokotemperaturowym procesie regeneracji,
- występowanie licznych zjawisk korozyjnych i erozyjnych w obiegu absorbentu[4].

2 Charakterystyka układów technologicznych instalacji mokrego odsiarczania spalin w elektrowni węglowej .

Omawiane instalacje odsiarczania spalin pracują według technologii mokrej wapiennej. Ich zasadniczym zadaniem jest usunięcie dwutlenku siarki SO2 ze spalin i następnie przetworzenie go w gips syntetyczny o wzorze chemicznym CaSO4 x 2H2O.

Działanie instalacji odsiarczania spalin polega na poniżej wymienionych podstawowych procesach:
- odsiarczenie spalin pochodzących z bloków energetycznych,
- oczyszczenie ścieków wytworzonych w trakcie trwania procesu odsiarczania i odprowadzenie ich.
- wyprodukowanie gipsu syntetycznego o parametrach handlowych.

Instalacje odsiarczania spalin IOS1 i IOS3 dedykowane dla bloków energetycznych, zostały zaprojektowane do odsiarczenia spalin mokrych w ilości od 0,9 – 2,3mln Nm3/h. Na rysunku 1 i 2 pokazano ogólny widok instalacji.

Rys. 1. Widok ogólny instalacji odsiarczania jednego bloku.(fot. własna)

Rys. 2. Widok ogólny instalacji odsiarczania drugiego bloku. .(fot. własna)

Parametry spalin wlotowych:
- zawartość SO2 1.450 – 2.900 mg/ Nm3
- zawartość popiołu do 100 mg/ Nm3
- temperatura 130oC (maksymalnie 180 oC) ..

Sorbentem jest mączka kamienia wapiennego dostarczana do elektrowni transportem kołowym (autami ciężarowymi i transportem kolejowym) z rejonu Gór Świętokrzyskich z okolic Kielecczyzny.

Mączka wapienna charakteryzuje się czystością min 96% i granulacją cząstek stałych 10-15% wagowo powyżej 75µm. Woda procesowa do instalacji odsiarczania pobierana jest z Rzeki Wisły. Nie jest uzdatniana chemicznie, tylko wstępnie oczyszczana mechanicznie na filtrach szczelinowych 250 µm.

Instalacje IOS1 i IOS3 bloków 500MW zużywają około 12-13,5t/h mączki kamienia wapiennego CaCO3 każda, do 93m3/h (IOS1) i do 185m3/h (IOS3) wody procesowej (średnia 24h) i około 8,9MW energii elektrycznej (średnia 24h).

Temperatura spalin odsiarczonych i kierowanych do komina wynosi w IOS1 około 85-90oC a w IOS3 51-55oC. Instalacja IOS1 posiada zabudowany podgrzewacz obrotowy spalin wylotowych, który miał za zadanie podgrzanie spalin kierowanych pierwotnie do betonowego komina. Obecnie spaliny z IOS1 i IOS3 są odprowadzane do wspólnego dwururowego komina stalowego, który nie wymaga podgrzewu spalin wylotowych. Podgrzewacz obrotowy

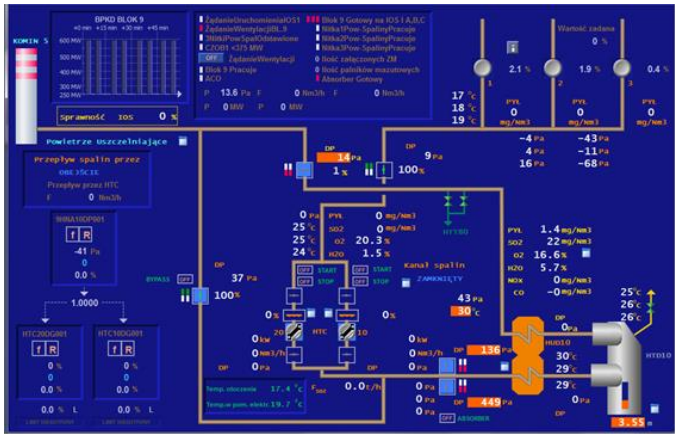
spalin będzie zlikwidowany w czasie remontu kapitalnego instalacji IOS1 w drugiej połowie 2018r.

Zawartość dwutlenku siarki w spalinach wylotowych zamyka się w przedziale do 200mg/Nm3 spalin suchych zawierających 6% tlenu, natomiast popiołu w spalinach w granicach do 50mg/Nm3 6% O2.

Gips syntetyczny produkowany na instalacjach IOS jest gipsem o wilgotności do 10%, posiada czystość min 95% i zawartość chlorków do 0,01%.

Ścieki oczyszczone przepompowywane do cieku w ilości około 20-25m3/h z każdej instalacji posiadają następujące parametry:

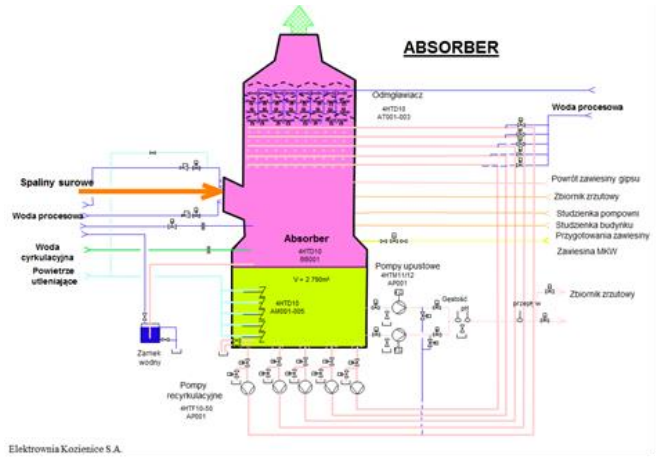
- pH 6,5-9
- temperatura 35oC
- zawartość chlorków i siarczynów do 22000ppm.



Rys. 3. Schemat technologiczny z systemu sterowania układu odsiarczania spalin. .(fot. własna)

Zasadniczymi zespołami instalacji odsiarczania mokrego są:

- absorber (rys. 4), z takimi urządzeniami jak: zbiornik zawiesiny, zbiorniki wody procesowej i cyrkulacyjnej, zbiorniki wapna hydratyzowanego, zbiorniki sprężonego powietrza itp.
- system recyrkulacji z takimi urządzeniami jak: pompy recyrkulacji zawiesiny gipsowej, sprzęgła pomp, mieszadła zawiesiny gipsowej,
- układ odwadniania gipsu, z takimi urządzeniami jak: pompy próżniowe, zbiornik i pompa mycia gipsu, próżniowy filtr taśmowy itp.
- układ oczyszczalni ścieków,
- układ sprężonego powietrza.



Rys.4. Absorber instalacji odsiarczania spalin

- system recyrkulacji z takimi urządzeniami jak: pompy recyrkulacji zawiesiny gipsowej, sprzęgła pomp, mieszadła zawiesiny gipsowej,
- układ odwadniania gipsu, z takimi urządzeniami jak: pompy próżniowe, zbiornik i pompa mycia gipsu, próżniowy filtr taśmowy itp.
- układ oczyszczalni ścieków,
- układ sprężonego powietrza.
- układ kanałów spalin.

Wszystkie maszyny i urządzenia techniczne w trakcie swej eksploatacji, ulegają zużyciu, co w konsekwencji prowadzi do dalszej utraty sprawności technicznej.

3 Analiza niesprawności urządzeń odsiarczania mających miejsce w trakcie eksploatacji

Ciągła eksploatacja instalacji odsiarczania w elektrowni, narzuca użytkownikom podstawowe zadania, które dotyczą: jakości spalin odprowadzanych do atmosfery, jakości wyprodukowanego gipsu, przestrzegania rygorystycznych parametrów ścieków oraz co się z tym wszystkim wiąże – utrzymanie w dyspozycyjności i sprawności urządzeń. Aspekty te w zdecydowanej mierze związane są z kilkoma czynnikami. Jednym jest czynnik ludzki, na który składa się jakość prowadzenia procesu odsiarczania poprzez zatrudniony personel, stopień jego wyszkolenia oraz poprawność podejmowania decyzji w sytuacjach awaryjnych i innych niestabilnych stanach eksploatacji urządzeń.

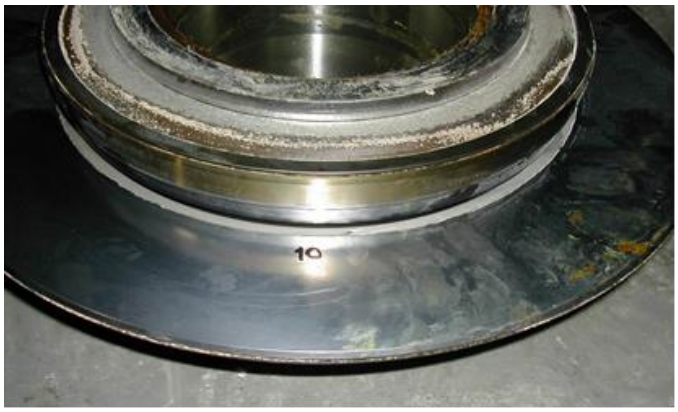
Powyższe uwarunkowania procesów remontowych urządzeń, ściśle wiążą się z teorią eksploatacji maszyn. Znajomość tej teorii jest niezbędna do poznania i zrozumienia warunków procesów remontowych urządzeń. Wszystkie urządzenia w trakcie swego życia technicznego, przechodzą następujące fazy: wartościowania, projektowania i konstruowania, wytwarzania i eksploatacji.

3.1 Analiza niesprawności urządzeń pompowych .

W instalacjach odsiarczania zainstalowano pompy recyrkulacyjne firmy Weir-Warman typu 800TY-GSL, oraz pompy firmy Duchting typu ROWA MCC 800-950. Z pompami Warman'a wiążą się największe doświadczenia remontowo-eksploatacyjne z racji długiego okresu użytkowania – blisko osiemnastoletniego.

Najczęstszymi oznakami erozyjnego i abrazyjnego oddziaływania zawiesiny gipsowej na urządzenia pompowe są:

- miejscowe wycieranie wirników pomp, co powodowało w elementach przepływowych obszary korozji międzykrystalicznej i wżerowej części stalowych. Uszkodzeniu ulegały głównie wirniki, tuleje gardzieli wlotowych, uszczelnienia mechaniczne dławicowe, części wałów i tuleje osłonowe wałów. Na rysunkach 5 i 6 pokazano najczęstsze przypadki uszkodzeń stalowych elementów pomp recyrkulacyjnych firmy Weir-Warman,
- wytarte elementy przepływowe pomp wykonane z gumy i elastomerów,
- zniszczone miejscowo rurociągi części ssawnej i tłocznej pomp. Zniszczeniu ulegały stożki wlotowe i wylotowe wykonane z żywic epoksydowych pokrytych płytami z tworzywa sztucznego typu polipropylen PP.



Rys. 5. Miejscowe uszkodzone uszczelnienia mechanicznego dławicowego. .(fot. własna)

Rys.6. Zużyty gumowy element części przepływowej pompy recyrkulacyjnej. .(fot. własna)

Uszkodzenia uszczelnień mechanicznych dławicowych wałów pomp (Rys. 5), powodują wycieki zawiesiny na zewnątrz urządzeń. Niewielkie wycieki zawiesiny można w sposób kontrolowany nadzorować i nie przeszkadza to w dalszej eksploatacji pomp i tym samym instalacji odsiarczania. Jednakże rozszczelnienia dławic mechanicznych po pewnym czasie przeradzają się w duże nieszczelności, które eliminują pompę z ruchu.

Elementy gumowe i elastomerowe podobnie jak elementy stalowe również ulegały uszkodzeniom powodowanym przez przepływającą przez pompy zawiesinę gipsową. Wykładziny gumowe zabezpieczają stalowe elementy przepływowe pomp przed uszkodzeniami wewnętrznymi korpusów stalowych, więc można stwierdzić, że spełniają swoje zadanie. Ich zużycie jest normalnym objawem eksploatacji pomp recyrkulacyjnych. Wykładziny gumowe nie zużywają się równomiernie, lecz w miejscach gdzie prędkość przepływającego medium jest największa, tzn. na płycie czołowej za uszczelnieniem mechanicznym (Rys.6) lub w części obwodowej wirnika.

Na rysunku 7 pokazano pęknięcie łopaty wirnika pompy recyrkulacyjnej. Naprawa tego elementu była możliwa, ale wymagała powzięcia ważnej decyzji o dalszej eksploatacji urządzenia. Pęknięty wirnik poddano szeregu prób diagnostycznych, a wyniki badań okazały się negatywne, po czym stwierdzono, że ten element nie może zostać dalej eksploatowany, gdyż ewentualna jego naprawa i dalsza eksploatacja po wykonanej naprawie może zakończyć się uszkodzeniem pozostałych elementów współpracujących bezpośrednio z pompą.

Rys. 7. Pęknięty element łopaty wirnika pompy recyrkulacyjnej. .(fot. własna)

Analizując awarie i związane z tym naprawy i modernizacje zestawów pompowych, należy stwierdzić, że dzięki tak przeprowadzonym zabiegom technicznym, znacznie zwiększono dyspozycję pracy instalacji i tym samym zdecydowanie zmniejszono koszty eksploatacji instalacji odsiarczania spalin. Wymienione powyżej awarie urządzeń i przeprowadzone czynności remontowo-modernizacyjne, przyczyniły się do wydłużenia czasów bezawaryjnej pracy obiektów i wyeliminowania nieplanowanych postojów, które bezpośrednio wpływają na zmniejszenie skuteczności ograniczenia emisji zasiarczonych spalin do atmosfery.

3.2 Analiza niesprawności mieszadeł.

Mieszadła w instalacjach odsiarczania mają za zadanie wprowadzanie w ruch wirowo-obrotowy wszelkiego rodzaju płynne media zawierające cząstki stałe. Zapobiegają w ten sposób osiadaniu, sedymentacji i tym samym tworzeniu twardych narostów i osadów w poszczególnych punktach technologicznych układów odsiarczania spalin. Zamontowane są w zbiornikach układów absorbera, oczyszczalni ścieków, przygotowania sorbentu, wody cyrkulacyjnej i odwadniania gipsu. Oprócz wymienionych tu funkcji przeciwosadowych, mieszadła spełniają również zadanie równomiernego rozprowadzenia w zawiesinie gipsowej powietrza utleniającego, niezbędnego do prawidłowego przebiegu procesu zamienienia siarczynu SO3 w siarczan SO4. Jest to jeden z podstawowych procesów tworzenia gipsu z wychwytywanego dwutlenku siarki ze spalin w połączeniu z sorbentem wapiennym.

Instalacje odsiarczania są wyposażone w mieszadła produkowane przez firmy Plenty – Mixing Solution i Ekato.

Poszczególne zbiorniki instalacji są wyposażone tylko w jedno mieszadło, co w przypadku jego awarii eliminuje ich z ruchu a w konsekwencji wpływa bezpośrednio na awaryjne odstawienie całej instalacji odsiarczania.

Najczęstszymi przypadkami niesprawności mieszadeł w instalacjach odsiarczania spalin były miejscowe wycierania powierzchni łopat wirników, nieszczelności z uszczelnień dławicowych mechanicznych wałów, zerwania pasów napędowych oraz pękanie wałów.

Nieszczelności uszczelnień mechanicznych dławicowych wałów mieszadeł absorbera związane są w znacznej mierze z drganiami zespołu, które z kolei powodowane jest nierównomierną pracą wytartych łopat wirników. Wycieranie łopat wirników jest efektem działania ściernego zawiesiny gipsowej. Jednakże drgania zespołów łożyskowych mieszadeł pochodziły nie tylko od erozyjnego działania zawiesiny gipsu, ale również od błędów konstrukcyjnych części łożyskowych. Niewłaściwy dobór łożysk, wpłynął niejednokrotnie na

drgania całego zespołu powodujące znaczne wycieki zawiesiny przez uszczelnienia dławicowego wałów. Efektem tego były awaryjne odstawienia instalacji odsiarczania z ruchu a czas ich przywrócenia do normalnej pracy trwał około 48 godzin. Wiązało się to z koniecznością opróżnienia absorbera z zawiesiny, czyli przepompowanie około 1800-1900 ton zawiesiny do zbiornika zrzutu awaryjnego, wymycie gęstych frakcji z dna absorbera, remont mieszadła i powtórne przepompowanie zawiesiny do absorbera.

Remont części ułożyskowania polegał w pierwszych miesiącach eksploatacji na wymianie zużytych łożysk na nowe. Jednakże po kilku podobnych zabiegach stwierdzono, że przyczyną tego stanu jest niewłaściwy dobór łożysk przez anielskiego producenta urządzenia. Zadecydowano o wyborze innego typu łożysk z tulejami skośnymi zmniejszającymi luzy promieniowe w osadzanych na wale łożyskach. Zastosowano łożyska 2216K ze stożkowymi tulejami wciąganymi H319. Spowodowało to znaczne zmniejszenie drgań, co spowodowało prawidłową pracę uszczelnienia dławicowego wału, ale również pozytywnie wpłynęło na zmniejszenie poziomu emitowanego hałasu. Przypadek cieknącego uszczelnienia dławicowego wału pokazano na rysunku 8.

Rys. 8. Wyciek zawiesiny gipsu z dławicowego uszczelnienia wału mieszadła. .(fot. własna)

Innymi przypadkami awarii mieszadeł były przypadki pękania skorodowanych wałów. Na początku eksploatacji poszukiwano przyczyn takich zdarzeń, gdyż na podstawie uszkodzeń nie można było wywnioskować jaka była tego przyczyna. Dokumentacja DTR producenta nie określała zastosowanego typu materiału wału, a jedynie wskazywała nazwę handlową i numer katalogowy wyrobu. Znaczne koszty zakupu materiałów oryginalnych części zamiennych producenta Plenty i długi czas oczekiwania na nie, zmusiły służby techniczne do doboru zamienników oryginalnych elementów. Jako pierwszy z zamienników materiałów na wał zastosowano stal 3H17M o chemicznym składzie pierwiastkowym: 15,5-17,5%Cr, 1%Ni i 1,0-1,3%Mo. Zastosowany zamiennik wytrzymał znacznie dłużej niż oryginał, ale kolejne awarie miały podobny charakter do pierwotnie zastosowanych materiałów. Kolejną próbą było zastosowanie materiału Duplex o symbolu 1.4462 i składzie chemicznym głównych pierwiastków: 21%Cr, 4,5%Ni i 2,5%Mo. Ten wybór materiału był bardzo dobrym posunięciem decyzyjnym, a wały mieszadeł z tego materiału wpłynęły na praktycznie wyeliminowanie awarii z powodu korozji i pęknięć tych urządzeń.

Na rysunku 9 pokazano jeden z wielu przypadków awarii wałów mieszadła absorbera wykonanych z materiału 3H17M.

Rys. 9. Uszkodzony wał mieszadła absorbera. .(fot. własna)

Awarie mieszadeł spowodowane wycieraniem wirników łopat są kolejnym przykładem awarii tych urządzeń. Powyżej opisane przyczyny drgań zespołów łożyskowych wynikające z powstających ubytków w rodzimym materiale łopat, są dla eksploatatorów instalacji odsiarczania spalin powszechnym zjawiskiem. Zużycie powierzchni wirników mieszadeł jest spowodowane w głównej mierze kontaktem z bardzo ściernymi mediami. Ubytki powstające na powierzchniach i krawędziach natarcia śmigieł powodują znaczną niewywagę zespołów, co w konsekwencji prowadzi do przyspieszonego zużycia łożysk i uszczelnień dławicowych wałów oraz generuje do otoczenia znaczny hałas i wibracje sąsiednich urządzeń.

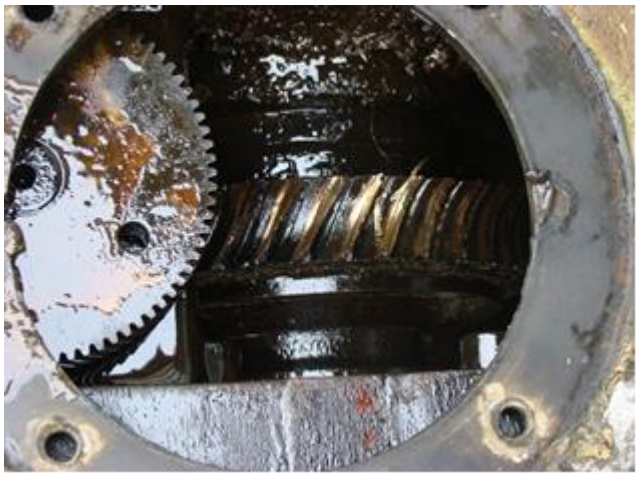
Problemy awarii mieszadeł dotyczą oprócz mieszadeł absorbera również innych mieszadeł zainstalowanych w pozostałych układach technologicznych instalacji odsiarczania. Przykładem tego może być awaria mieszadła zbiornika wody cyrkulacyjnej. Jest to medium, które zawiera około 5-10% cząstek stałych, a więc podobnie jak zawiesina gipsowa w absorberach jest również medium ściernym.

Zbiornik wody cyrkulacyjnej posiada jedno mieszadło, co oznacza, że w przypadku jego awarii, układ ten musi zostać zatrzymany, co w krótkim czasie powoduje zatrzymanie całej instalacji odsiarczania lub pracę w bardzo utrudnionych warunkach eksploatacji.

Awaria mieszadła zbiornika wody cyrkulacyjnej polegała na zwiększonych drganiach wału, co w konsekwencji doprowadziło do wycieków z uszczelnienia mechanicznego wału i w konsekwencji do jego odstawienia z ruchu. Przyczyną tych objawów było miejscowe wycieranie łopat, które doprowadziły urządzenie do drgań i wycieków. Na rysunku 10 przedstawiono zużyty miejscowo wirnik mieszadła wody cyrkulacyjnej.

Mieszadła pracujące w instalacjach odsiarczania spalin narażone są również na inne awarie. Jednym z nich była awaria przekładni-reduktora mieszadła studzienki systemu opróżniania. Objawami niesprawności przekładni, były podwyższone drgania, dziwne metaliczne odgłosy dochodzące z korpusu urządzenia oraz w konsekwencji brak przeniesienia napędu z silnika do wału. Na rysunku 11 pokazano zużycie wewnętrznych elementów reduktora.

Rys. 10. Zużyty wirnik mieszadła zbiornika wody cyrkulacyjn.(fot. własna)ej.



Rys. 11. Zużyta przekładnia mieszadła Plenty. .(fot. własna)

Analiza przeprowadzonych zabiegów regeneracyjnych wskazuje, że prace remontowe wykonywane siłami własnymi elektrowni i z wykorzystaniem środków regeneracyjnych, pozwalają na duże ograniczenie kosztów eksploatacyjnych. Wykonywanie regeneracji i napraw umożliwia wydłużenie żywotności pierwotnie zainstalowanych urządzeń i ograniczenie kosztownych wymian doszczętnie zużytych elementów. Świadczy o tym fakt, że regeneracje mieszadeł absorbera pozwoliły na ich osiemnastoletnią eksploatację bez wymiany żadnego wirnika. Zbliżony koszt nowego wirnika mieszadła absorbera Plenty to ponad 100 tysięcy złotych, natomiast mieszadła Ekato to około 25 tysięcy złotych. Koszty regeneracji jednego wirnika z uwzględnieniem roboczogodzin pracowników wynosi 5-7 tysięcy złotych.

3.3 Analiza niesprawności zbiorników.

Odsiarczanie spalin metodą mokrą wapienną związanej jest ze znaczną kondensacją gazów na wewnętrznych powierzchniach ścian zbiorników. Ma to miejsce, gdy temperatura gazów znajduje się poniżej kwasowego punktu rosy w obecności pary wodnej. Miejscowe obniżenie temperatury spalin powoduje zagrożenie korozyjne zbiorników i kominów w instalacjach odsiarczania.

Do grupy zbiorników w mokrej instalacji odsiarczania spalin zalicza się: absorbery, zbiorniki wody procesowej i cyrkulacyjnej, zbiorniki zawiesiny mączki wapiennej i wapna hydratyzowanego, zbiorniki oczyszczalni ścieków, przechowywania chemikaliów oraz zbiorniki sprężonego powietrza.

Głównym i najważniejszym zbiornikiem instalacji odsiarczania jest absorber. Jest on wykonany z blachy stalowej z zainstalowanym w swej górnej części systemem zraszania spalin, natomiast dolna część absorbera posiada układ napowietrzania i mieszania zawiesiny gipsowej. Do absorbera doprowadzony jest kanał spalin surowych nieoczyszczonych i kanał spalin wylotowych oczyszczonych. Spaliny po przekroczeniu strefy zraszania znajdują się w górnej najzimniejszej części zbiornika. Temperatura spalin w tej strefie wynosi 55oC i jest to temperatura poniżej kwasowego punktu rosy, co naraża całą powierzchnię ścian na procesy korozyjne. Spaliny ulegają wówczas szybkiemu oziębieniu i zachodzi proces wykraplania się kwasu na ścianach. W strefie mieszania zawiesiny gipsowej, ściany absorbera narażone są na wycieranie przez krążącą w ruchu wirowym zawiesinę.

Zabezpieczenie ścian wewnętrznych absorbera jest dość skomplikowane i każda ze stref jest zabezpieczana w inny sposób. Wykładziną absorbera jest żywica płatkowa typu Fuji Flake.

Uszkodzenia i awarie powłok zabezpieczających absorbera miały charakter przypadkowych uszkodzeń spowodowanych przez obsługę w trakcie czyszczenia i wymywania zbiornika, udrażniania rur odpływowych oraz otwierania poszczególnych włazów. Miejscowe uszkodzenie powłoki absorbera w miejscu odpływu zawiesiny przedstawiono na rysunku 12.

Rys. 12. Uszkodzenie powłoki żywicznej absorbera. .(fot. własna)

W jednej z instalacji odsiarczania miała miejsce awaria wykładziny żywicznej, której przyczyna leżała w niewłaściwym przygotowaniu powierzchni. Na części wlotowej spalin surowych do absorbera praktycznie całkowicie warstwa żywicy odspoiła się od powierzchni stalowej. Na rysunku 13 przedstawiono efekt źle wykonanej aplikacji materiału żywicznego.

Rys. 13. Uszkodzenie wykładziny żywicznej absorbera. .(fot. własna)

Instalacje odsiarczania spalin oraz używane w nich media i substancje chemiczne, wymagają stałej ochrony przeciwkorozyjnej i przeciwabrazyjnej. Odpowiedni dobór materiałów zabezpieczających zbiorniki i fachowe wykonawstwo prac remontowych, decydują o bezawaryjnej eksploatacji urządzeń i prowadzenia procesu oczyszczania spalin. Wszelkiego rodzaju materiały kompozytowe używane do zabezpieczenia powierzchni przed niszczeniem, przyczyniają się pośrednio do spełniania przez eksploatatorów surowych norm zawartych w przepisach o ochronie środowiska naturalnego.

3.4 Analiza awarii kolektorów rurowych.

Korozyjne i abrazyjne środowisko pracy instalacji odsiarczania spalin jest główną przyczyną występujących usterek i awarii systemów rurowych poszczególnych układów technologicznych. Rurociągi zraszające zainstalowane w absorberze są narażone na

ścierne oddziaływanie zawiesiny gipsowej, tak od wewnątrz jak i na zewnątrz. Przepływająca przez nie zawiesina gipsowa o około 20% zawartości cząsteczek gipsu, powoduje wycieranie rur od środka. Jednakże zawiesina wypływająca z dysz spryskujących w przeciwprądzie spaliny, oddziałuje również niszcząco na sąsiednie rurociągi zraszające.

Rurociągi zraszające absorbera zostały skonstruowane w taki sposób, że tworzą kratownicę w całym przekroju absorbera i utrzymują tym samym wystarczającą sztywność całej konstrukcji. Od każdej rury zraszającej wyprowadzone są rury o mniejszych średnicach, zakończone dyszami spryskującymi spaliny. Całość konstrukcji ma za zadanie jak najbardziej szczelnie wypełnić przestrzeń przelotu spalin i w jak największym stopniu spowodować kontakt spalin z zawiesiną. Te wymagania rodzą problemy z tym związane, ponieważ omywająca spaliny zawiesina gipsu, również spotyka na swej drodze gęstą sieć konstrukcji rurowej. Zawiesina gipsu skutecznie wyciera poszczególne miejsca kratownicy rurowej, powodując uszkodzenia i osłabienie konstrukcji nośnej systemu zraszającego. Na rysunku 14 pokazano miejscowe wytarcia stężeń rurociągów zraszających. Po około pięciu latach eksploatacji jednej z instalacji stwierdzono, że takich zużytych miejsc jest około 100.

Rys. 14,. Uszkodzenia stężeń kolektorów zraszania spalin. .(fot. własna)

Rurociągi pracujące w instalacji odsiarczania są narażone jeszcze na uszkodzenia związane z okresami zimowymi i zamarzaniem przetłaczanych przez nie mediów. Wszelkie zawiesiny powodują osadzanie cząsteczek, powodujących ograniczony przepływ wody przepłukującej. Tworzą się wewnątrz rur naturalne bariery, tzw. siodła, które zatrzymują wodę płuczącą. Wszystkie rurociągi pracujące na zewnątrz budynków są ogrzewane elektrycznie i posiadają zabudowaną izolację, jednakże zdarzają się przypadki zarośnięcia wewnętrznego rur i dodatkowo niedziałającego ogrzewania. Efektem są uszkodzenia pokazane na rysunku 15.

Rys. 15. Uszkodzenia zamarzniętych rurociągów. .(fot. własna)

Awarie związane z rurociągami mają miejsce również na rurociągach stalowych. Media przetłaczane w instalacji odsiarczania, jak już wcześniej wspomniano, posiadają właściwości abrazyjne oraz skłonności do osadzania się cząsteczek stałych i przylegania do powierzchni urządzeń.

Podsumowanie

Urządzenia techniczne w trakcie trwania procesów technologicznych ulegają awariom i naturalnemu zużyciu. Wszystkie niesprawności urządzeń znacząco wpływają na prawidłową pracę poszczególnych układów technologicznych oraz w konsekwencji na odstawienia całych instalacji z ruchu. Awaryjne odstawienia instalacji oraz nieplanowe postoje obiektów technologicznych wiążą się dla zakładów energetycznych ze stratami finansowymi za niedotrzymanie umów kontraktowych na wytworzenie energii lub z karami finansowymi za zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Awarie urządzeń odsiarczania spalin opisane w poprzednim rozdziale, znacząco wpływają na dotrzymanie norm emisji dwutlenku siarki do atmosfery. Przywrócenie urządzeń do pełnej sprawności technicznej w większości przypadków wiąże się z ich odstawieniem z ruchu. Jest to proces bardzo czasochłonny, gdyż konieczność stworzenia bezpiecznych warunków pracy dla poszczególnych operacji remontowych, wiąże się często z opróżnianiem zbiorników ze swych zawartości. Media są przepompowywane do awaryjnych zbiorników zrzutowych, co generuje kilkugodzinne operacje. Opróżnione z mediów zbiorniki muszą być wymyte z pozostałości cząstek stałych, gdyż stwarza to niebezpieczeństwo zatkania twardymi osadami innych urządzeń w trakcie rozruchu.

Niesprawności urządzeń są zdarzeniami, których nie da się wyeliminować, więc eksploatatorzy instalacji odsiarczania muszą sobie radzić z takimi problemami w inny sposób. Należy wówczas tak modernizować obiekty technologiczne oraz poszczególne urządzenia, żeby niesprawne urządzenie mogło być zastąpione przez inne rezerwowe, bez konieczności odstawienia całej instalacji lub żeby instalacja mogła dopracować do planowanego terminu postoju remontowego.

Pompy recyrkulacyjne pracujące na instalacjach odsiarczania mają za zadanie przetłaczania zawiesiny gipsu z dna absorbera do górnych poziomów zraszania. Tam w przeciwprądzie omywają spaliny, z których wychwytywane są cząstki dwutlenku siarki. Przy maksymalnym przepływie spalin i tym samym maksymalnych mocach bloków energetycznych, muszą pracować wszystkie pompy zamontowane w instalacji odsiarczania. Awaria jednej z pracujących pomp recyrkulacyjnych powoduje mniejszy parasol deszczu zawiesiny, czyli oznacza to mniejszą skuteczność instalacji i większą emisję dwutlenku siarki do atmosfery. Niedotrzymywany jest wówczas poziom emisji dwutlenku siarki na wylocie z komina wynoszący na dzień dzisiejszy 200 mg/Nm3, który wynika z przepisów zawartych w Przejściowym Planie Krajowym dla wytwórców energii.

Bibliografia:

1. Jagusiewicz A., Historia rozwoju polityki i strategii ochrony powietrza w regionie EKG ONZ w ramach implementacji Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości w „25 lat implementacji Konwencji EKG ONZ w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości", Biblioteka Monitoringu Środowiska, 20041. Nowak J., Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego, WKiŁ, Warszawa 2004.
2. Degórska A. pod kierunkiem dr hab. J. Bartnickiego, Kompleksowa analiza stężeń związków zakwaszających w powietrzu i opadach oraz ich depozycji na stacjach EMEP w Polsce, Warszawa/Wrocław, 2007

3. Kuropka J. Oczyszczanie gazów odlotowych z zanieczyszczeń gazowych, Urządzenia i technologie, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 1991
4. Warych J., Oczyszczanie gazów. Procesy i aparatura, WNT, Warszawa, 1998

Analysis of failure of suspension devices

The article discusses the operational problems of the flue gas desulphurisation installation in a coal-fired power plant for hard coal

Keywords:. flue gas desulphurisation, absorber, pump

Autorzy:

Dr inż. **Jan Ciecieląg** – Uniwersytet Technologiczzno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny.

Dr inż. **Marek Wiśniewski** – Uniwersytet Technologiczzno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny