

Andrzej W. WALEWSKI, Zbigniew L. RATAJ, Wacław WOJNAR
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Śląska

SYSTEMY SCHŁODZENIA I PODGRZEWU SPALIN W UKŁADACH ODSIARCZANIA SPALIN CIEPŁOWNI Z KOTŁAMI RUSZTOWYMI

Streszczenie. Przedstawiono systematykę, ocenę rozwiązań ideowych oraz autorskie zalecenia konstrukcyjne systemów schłodzenia i podgrzewu spalin kotłowych w układach odsiarczania spalin funkcjonujących wg metody mokrej wapienno-wapniowej w ciepłowniach miejskich. Omówiono problemy eksploatacyjne i dokonano oceny wymienników ciepła w tych układach. Na podstawie obliczeń wykonanych dla projektowanej ciepłowni miejskiej, wyposażonej w kotły rusztowe, zaprezentowano własną koncepcję rozwiązania konstrukcyjnego systemu.

FLUE GAS COOLING DOWN AND WARMING UP SYSTEMS OF DESULFURIZATION PLANTS IN MUNICIPAL HEATING STATIONS WITH STOKER BOILERS

Summary. In this paper the schemas and an analyse of the cooling and heating up systems in flue gas desulfurization process has been in detail presented. The flue gas desulfurization works on the wet lime/limestone technology. The problems occuring in process and the estimation of heat exchangers were in several aspects discussed. On the basis of the calculation series made for municipal heating station the own concept of layout of those system was given.

ABKÜHLUNGS- UND AUFWÄRMUNGSSYSTEME VON ABGASEN IN ENTSCHEFFELUNGSANLAGEN BEI WANDERROSTKESSELN IN HEIZWERKEN

Zusammenfassung. Eine systematische Darstellung und die detaillierte Analyse möglicher Lösungen der Abkühlungs- und Aufwärmungssysteme des Abgases, die auf der Basis von naßen Methode mit Zugabe von Kalk und Kalkstein in städtischer Heizkraftwerken-Entschwefelungsanlagen arbeitend sind, ist gegeben worden. Es wurden einige Betriebsprobleme und die Auswertung von Wärmetauscher in solchen Systemen besprochen. Auf

der Grundlage durchgeführten Berechnungen für einen in Planungsstudium befindenden Heizkraftwerk wurde ein eigener Konzept der Lösung eines Systems vorgeschlagen.

1. WPROWADZENIE

W kraju rozpowszechnione są systemy ciepłownicze bazujące na elektrociepłowniach oraz centralnych i lokalnych ciepłowniach. W elektrociepłowniach zainstalowane są bloki ciepłownicze i kotły wodne opalane pyłem węgla kamiennego, np. WP 70, WP 120. W centralnych i lokalnych ciepłowniach zainstalowane są kotły wodne rusztowe typoszeregu WR, dostosowane do spalania węgla kamiennego.

W większych ciepłowniach podstawową jednostką są kotły WR 25. Jest to jednostka zapewniająca uzyskanie dużej mocy cieplnej, z parametrami 150°C/70°C. Wielkości jednostek, parametry, ekonomika i dyspozycyjność urządzeń są sprawdzone w wieloletniej eksploatacji i okazują się typowe dla realizacji ogrzewania, z wykorzystaniem węzłów cieplnych wymiennikowych (stacji kompaktowych) i nie odbiegają od przyjmowanych w technice zagranicznej dla ogrzewań konwektorowych.

Dużym problemem eksploatacyjnym w aspekcie ochrony środowiska jest poziom emisji do atmosfery toksycznych zanieczyszczeń gazowych, głównie tlenków siarki SO_x i tlenków azotu NO_x . O ile problem emisji zanieczyszczeń stałych (pyłów) można uznać za rozwiązany w świetle nowych technik odpylania, to problem zanieczyszczeń gazowych wymaga ciągle rozwiązań systemowych.

Podstawowym paliwem stosowanym w polskim ciepłownictwie jest i będzie nadal węgiel kamienny ze względu na jego dostępność i cenę. Z uwagi na to, że niektóre węgle kamiennie zawierają znaczne ilości siarki $S = (0,5 - 3,5)\%$, aktualnym problemem jest odsiarczanie spalin kotłowych.

Podaż węgla o niskiej zawartości siarki ($S < 0,6\%$) znacznie się zwiększyła w ostatnich latach, ze względu jednak na specyficzne uwarunkowania społeczne, w niektórych regionach kraju wydobywane są i spalane w lokalnych kotłowniach węgle o wysokiej zawartości siarki ($S > 1,0\%$).

Normy emisji toksycznych zanieczyszczeń i ograniczenia techniczne muszą być dostosowane do norm europejskich. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z lutego 1990 r. z późniejszymi wyjaśnieniami z sierpnia 1990 r. traktuje obecnie pracujące kotły dość liberalnie, ale po terminie 31. 12. 1997 r. obowiązujące normy zostaną zdecydowanie zaostrzone.

Odsiarczanie spalin kotłowych jest w krajowych warunkach techniczno-ekonomicznych jedyną w perspektywie najbliższych lat, bezpośrednią metodą ograniczania emisji toksycznych tlenków siarki do atmosfery. Inne pośrednie

metody wymagają dużych nakładów finansowych na restrukturyzację ciepłownictwa, budowę zakładów wzbogacania węgla i czasu.

Analizy znanych w technice światowej metod odsiarczania spalin [2 + 22] wykazały, że jedyną wysoko sprawną i możliwą do technicznej realizacji w krajowych warunkach techniczno–ekonomicznych jest mokra metoda wapienno–wapniowa.

W instalacjach układów odsiarczania spalin UOS pracujących według tej metody niezbędne są wymienniki ciepła schładzające spaliny przed procesem wiązania tlenków siarki SO_x w skruberze i odgrzewające odsiarczone spaliny przed wprowadzeniem do wentylatora ciągu WC i dalej do komina.

Systemy termiczno–przepływowe procesów schłodzenia i podgrzewu spalin w UOS mają różne rozwiązania konstrukcyjne, wykorzystują różne czynniki energetyczne. W artykule zawarte są oceny wad i zalet znanych rozwiązań, autorskie zalecenia konstrukcyjne oraz opis systemu i instalacji według własnego rozwiązania autorów.

2. ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNE I EKSPLOATACYJNE WYMIENNIKÓW CIEPŁA W UKŁADACH ODSIARCZANIA SPALIN KOTŁOWYCH

Mokra metoda wapienno–wapniowa, której szczegółowe opisy zamieszczono w pracach [2, 3], jest optymalną, wysoko sprawną metodą o średnich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych, wykorzystującą krajowy, łatwo dostępny surowiec jako sorbent procesowy: kamień wapienny, dolomit, wapno oraz dodatkowo alkaliczne popioły z energetycznego spalania węgla w kotle ciepłowni.

W cyklu technologicznym wg tej metody korzystnie jest, aby spaliny kotłowe o temperaturze $t_3 = (110 + 180)^\circ\text{C}$ przed wprowadzeniem do absorbera schłodzone zostały do temperatury $t_4 \leq (80 + 90)^\circ\text{C}$.

Niezaprzeczalnym efektem termodynamicznym jest rozwiązanie z wykorzystaniem ciepła odebranego w cyklu schłodzenia w systemie kondycjonowania spalin. Odsiarczane spaliny w absorberze ulegają dalszemu schłodzeniu do temperatury $t_1 = (40 + 50)^\circ\text{C}$. Znane są rozwiązania bez wymiennika ciepła, gdzie cały strumień ciepła spalin wylotowych kotła odbierany jest mieszankowo przez natrysk alkaliczną wodą procesową w absorberze UOS. Ciepło jest tu tracone bezpowrotnie, a w obiegu alkalicznej wody procesowej musi krążyć zwiększony jej strumień.

Po wyjściu z absorbera spaliny odprowadzane są do wentylatora ciągu WC i dalej do czopucha i komina.

W celu uniknięcia zjawisk korozji siarkowej niskotemperaturowej (proces odsiarczania przy optimum techniczno–ekonomicznym tej metody osiąga

sprawność $\eta_{ods} = (80 \div 90)\%$ spaliny z kolei muszą być podgrzane do temperatury powyżej punktu rosy $t_2 \geq (80 \div 100)^\circ\text{C}$.

2.1. Wariantowe rozwiązania koncepcyjne systemu kondycjonowania spalin w UOS

Proces kondycjonowania spalin, polegający na ich schładzaniu a następnie podgrzewaniu, może być realizowany technicznie wg wielu wariantów konstrukcyjnych. Może przebiegać w pętlach rozdzielonych, gdzie do wymienników wprowadzane są obce procesowo czynniki energetyczne lub w pętlach zwartych, gdzie spaliny surowe dążące do absorbera SO_x schładzane są spalinami odsiarczonymi, wychodzącymi z absorbera.

W układach tych instalowane są, odpowiednio do procesu, różnego typu wymienniki ciepła:

Wariant 1. Rozdzielone pętle podgrzewu i schłodzenia spalin

- rekuperacyjny rurowy schładzacz spalin; woda jako czynnik chłodzący, powierzchnia wymiany ciepła rozwinięta po stronie spalin,
- rekuperacyjny rurowy podgrzewacz spalin; para z obiegu kotła lub woda z obiegu ciepłowniczego jako czynnik grzewczy, powierzchnia rozwinięta po stronie spalin.

Wariant 2. Rozdzielone pętle podgrzewu i schłodzenia spalin ze wspólnym czynnikiem pośrednim

- odrębne pęczki rekuperacyjnego rurowego schładzacza i podgrzewacza spalin; wspólny czynnik pośredni w pętli zwartej,
- dodatkowy korekcyjny wymiennik rekuperacyjny dla schłodzenia lub podgrzewu spalin zasilany czynnikiem obcym.

Wariant 3. Zwarta pętla schłodzenia i podgrzewu spalin

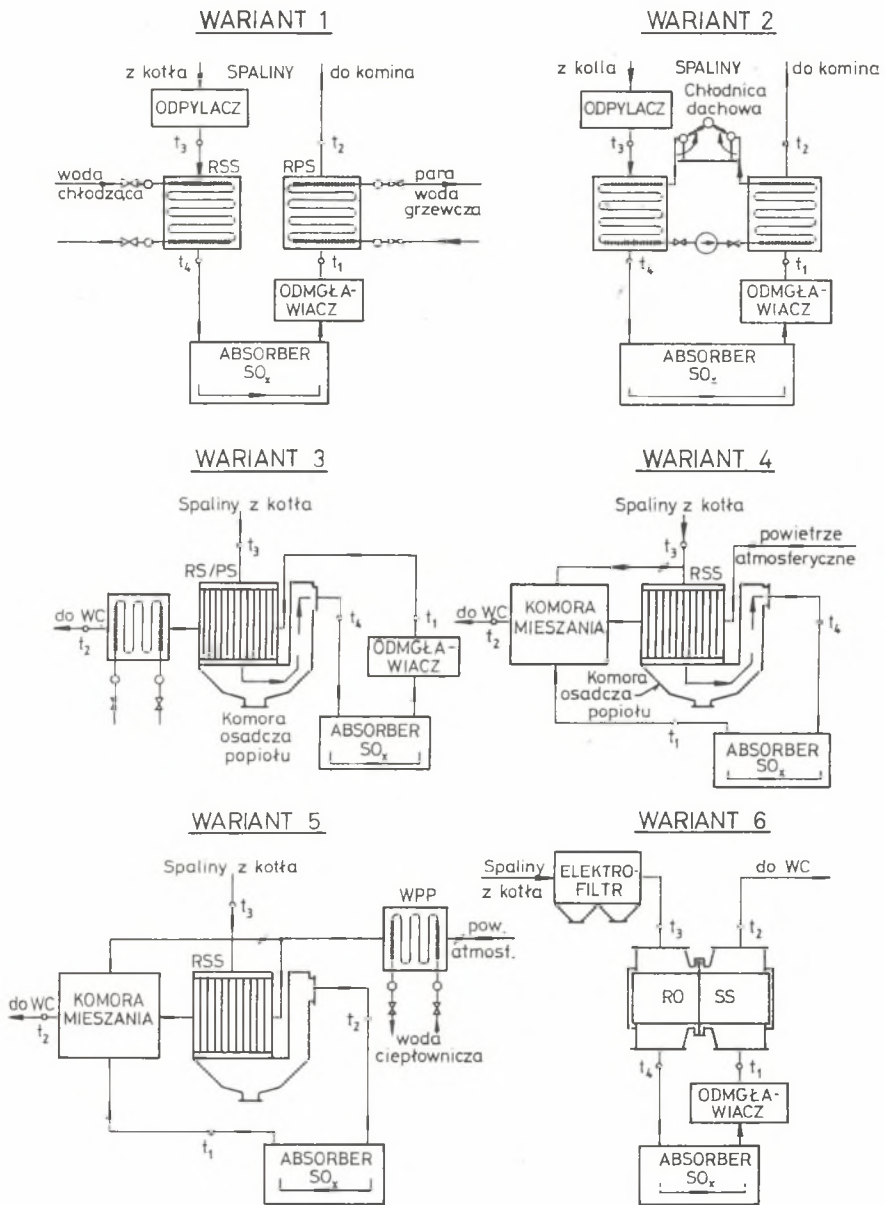
- rekuperacyjny rurowy schładzacz/podgrzewacz spalin; spaliny surowe dążące do absorbera oddają ciepło spalinom odsiarczonym wychodzącym z absorbera,
- dodatkowy korekcyjny podgrzewacz spalin zasilany parą lub wodą.

Wariant 4. Zwarta pętla schłodzenia i podgrzewu. Wymiennik mieszankowy

- rekuperacyjny rurowy schładzacz spalin surowych omywany powietrzem atmosferycznym,
- komora mieszania powietrza podgrzanego i spalin odsiarczonych,
- kanał by-pass spalin surowych do komory mieszania.

Wariant 5. Zwarta pętla schłodzenia i podgrzewu spalin

- rekuperacyjny rurowy schładzacz spalin surowych omywany powietrzem wstępnie podgrzanym,
- wymiennik mieszankowy; komora mieszania powietrza podgrzanego i spalin odsiarczonych,
- wstępny wodny podgrzewacz powietrza atmosferycznego.



Rys. 1. Schemat realizacji technicznych wariantowych rozwiązań systemu kondycjonowania spalin w UOS

Fig. 1. Schematic representation of several technical systems of flue gas conditioning in FDS (UOS)

Wariant 6. Zwarta pętla schłodzenia/podgrzewu spalin

- regeneracyjny obrotowy schładzacz/podgrzewacz spalin ROSS; spaliny surowe oddają ciepło spalinom odsiarczonym przez pośredni czynnik akumulacyjny – wypełnienie ROSS.

Schematy realizacji technicznych zestawionych wariantów rozwiązań systemu kondycjonowania spalin w UOS obrazuje rys. 1. Takie układy instalowane w UOS elektrociepłowni i ciepłowni mają wady i zalety, które omówione zostaną dla zestawionych wariantów rozwiązania konstrukcyjnego.

2.2 Analiza i ocena wariantowych rozwiązań ideowych systemów kondycjonowania spalin UOS

Autorzy publikacji projektując od kilku lat systemy kondycjonowania spalin dla UOS kotłowni elektrociepłowni i ciepłowni uwzględniają w swych koncepcjach aspekt ekonomiczny i techniczny zagadnienia.

Dla właściwej oceny systemu kondycjonowania spalin dokonano zestawienia wad i zalet proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych i procesu eksploatacji systemu (tablica 1). Każde z prezentowanych rozwiązań wariantowych W1 ÷ W6 ma dodatnie i ujemne cechy. Wybór optymalnego wariantu winien być poprzedzony analizą uwzględniającą uwarunkowania obiektu.

Tablica 1

Zestawienie porównawcze wariantowych rozwiązań systemu schłodzenia (SS) i podgrzewu (PS) spalin w UOS

Wariant	System kondycjonowania spalin		
	Wady (-)		Zalety (+)
	Konstrukcyjne	Eksploatacyjne	
1	<ul style="list-style-type: none"> – odrębne instalacje czynników SS i PS – dwa różne czynniki energetyczne – dwa bloki wymienników SS i PS 	<ul style="list-style-type: none"> – obce procesowo czynniki energetyczne SS i PS – tracone ciepło spalin schładzanych – ciepło podgrzewu z obcego źródła – wstępny odpylacz spalin 	<ul style="list-style-type: none"> + rozwinięta powierzchnia wymiany ciepła po stronie spalin w SS i SP + zwarta budowa wymienników + czyste media kotłowe wewnątrz rur grzewczych + prosta regulacja systemu
2	<ul style="list-style-type: none"> – dwa bloki wymienników – różne konfiguracje geometryczne grzewczego wkładu rurowego SS i PS – dodatkowa chłodnica (np. dachowa) medium SS/PS 	<ul style="list-style-type: none"> – obce procesowo medium SS/PS – trudna regulacja systemu – konieczność wprowadzenia dodatkowej chłodnicy medium – drogie medium SS/PS (glikol) – wstępny odpylacz spalin 	<ul style="list-style-type: none"> + rozwinięta powierzchnia wymiany ciepła po stronie spalin + odzysk ciepła SS z częściową utylizacją ciepła w PS + zwarta budowa wymienników

cd. tablicy 1

Wariant	System kondycjonowania spalin		
	Wady (-)		Zalety (+)
	Konstrukcyjne	Eksploatacyjne	
3	<ul style="list-style-type: none"> - gładkie rury wkładu grzewczego wymiennika ciepła gaz-gaz - znaczne gabaryty wymiennika - konieczność oczyszczania powierzchni międzyrurowej 	<ul style="list-style-type: none"> - niskie współczynniki wnikania ciepła α - brak możliwości intensyfikacji wymiany ciepła - zapyłone, zasiarzone spaliny wewnątrz rur - szczątkowe zasiarczenie i zawilgocenie spalin w przestrzeni międzyrurowej wymiennika 	<ul style="list-style-type: none"> + wymiana ciepła czynników procesowych + odzysk ciepła SS z pełną utylizacją ciepła w PS + eliminacja wstępnego odpylacza spalin + odpylanie schłodzonych spalin
4	<ul style="list-style-type: none"> - komora mieszania - instalacje by-pass spalin surowych - gładkie rury wkładu grzewczego wymiennika - znaczne gabaryty wymiennika 	<ul style="list-style-type: none"> - wprowadzenie do systemu obcego procesowo powietrza - odsiarczanie niepełnego strumienia spalin - by-pass spalin surowych - dodatkowe obciążenie WC - wysokie opory strumieni powietrza w przepływie wielobiegowym 	<ul style="list-style-type: none"> + czyste powietrze w przestrzeni międzyrurowej + eliminacja wstępnego odpylacza spalin + obniżenie progu temperatury rosenia przez wprowadzenie do komory powietrza podgrzanego
5	<ul style="list-style-type: none"> - komora mieszania - wstępny podgrzewacz powietrza - gładkie rury wkładu grzewczego wymiennika gaz-gaz 	<ul style="list-style-type: none"> - obce procesowo powietrze w systemie - dodatkowe obciążenie WC - wstępny podgrzewacz powietrza zasilany z obcego źródła 	<ul style="list-style-type: none"> + czyste powietrze w przestrzeni międzyrurowej wym. gaz-gaz + eliminacja wstępnego odpylacza spalin + odpylanie schłodzonych spalin + dogodna regulacja podgrzewu powietrza + rozwinięta powierzchnia podgrzewacza powietrza + obniżenie progu temperatury wstępnego rosenia przez wprowadzenie do komory powietrza podgrzanego
6	<ul style="list-style-type: none"> - skomplikowana konstrukcja ROSS - urządz. z napędem mechanicznym - wirniki i wypełnienia ROSS z materiałów odpornych korozyjnie 	<ul style="list-style-type: none"> - wrażliwy na zanieczyszczenia wymiennik ciepła ROSS - urządzenie wymagające obsługi - napęd mechaniczny 	<ul style="list-style-type: none"> + zwarta pętla SS/PS + pełny odzysk i utylizacja ciepła spalin

3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE URZĄDZEŃ W SYSTEMACH KONDYCYJONOWANIA SPALIN KOTŁOWYCH

Urządzenia pracujące w instalacjach systemów kondycjonowania spalin funkcjonują w skrajnie niekorzystnych warunkach korozyjnych, w nieodsiarczonych spalinach, w strefie temperatur powodujących powstawanie zjawisk niskotemperaturowej korozji siarkowej. W niektórych rozwiązaniach ideowych (wariant 3, 4, 5) powierzchnie wymiany ciepła omywane są zapyłonymi spalinami.

Z tych przyczyn budowa przedmiotowych urządzeń oraz dobrane materiały winny cechować się specyfiką rozwiązań szczególną dla projektowanego elementu systemu. Rozwiązania opisane poniżej stosowane są przez autorów publikacji w szeregu projektach wykonywanych dla obiektów energetycznych krajowych i zagranicznych. Oczywiście, rozwiązania te opierają się na długim cyklu obliczeń cieplnych i aerodynamicznych.

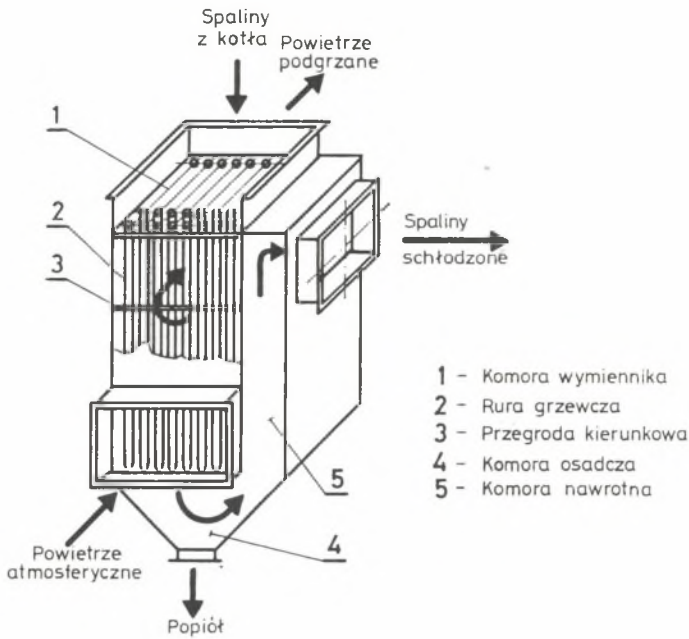
3.1. Rekuperacyjne wymienniki ciepła gaz – gaz

Urządzenia te są rekuperacyjnymi schładzaczami spalin (RSS) surowych. Projektujemy je w postaci rurowego wkładu grzewczego w układzie pęczkowym, zainstalowanego w kanale spalin. Powierzchnię wymiany ciepła stanowi pęczek rur o wymiarach $\phi 44,5 \times 1,5$, $50 \times 1,5$, $76 \times 2,9$, usytuowanych w podziałce: $s_1 = 100 \div 130$, $s_2 = 80 \div 100$. Rury usytuowane w układzie pionowym osadzone są w dnach sitowych.

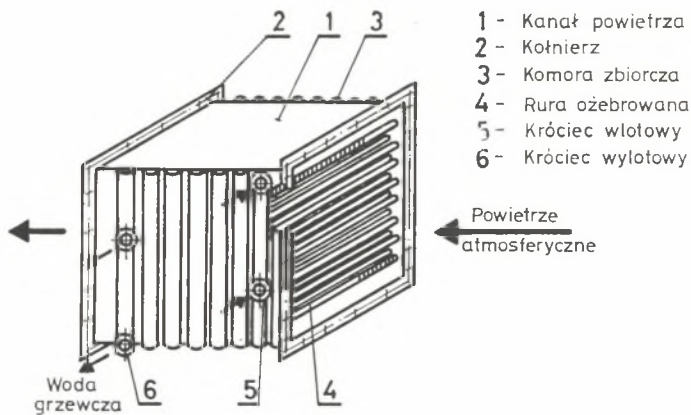
W obiektach o długim czasie eksploatacji rury wkładu grzewczego mają możliwość prostego demontażu w celach rewizyjnych i remontowych. Wewnątrz prostoosiowych rur od góry do dołu płyną surowe (nieodsiarczone, zapyłone) spaliny. W przestrzeni międzyrurowej przepływa powietrze, niekiedy wstępnie podgrzane lub odsiarczone spaliny opuszczające absorber SO_x . Powietrze może omywać odcinki rur grzewczych wielobiegowo ($1 \div 5$ biegów), spaliny zawsze płyną jednobiegowo. W dolnych partiach RS/PS instaluje się komory osadcze z lejami, w których konstruuje się przegrody, kierownice, kanały nawrotne dla wstępnego oddzielenia cząstek popiołowych ze spalin. Takie rozwiązanie pozwala na rezygnację z odpylacza spalin za kotłem (cyklon, multicyklon). Końcowy efekt odpylania ze sprawnością bliską $\eta = 100\%$ uzyskuje się w skruberze spełniającym funkcję filtra mokrego. W rozwiązaniu schładzacza spalin RSS omywanego powietrzem atmosferycznym lub wstępnie podgrzanym w wodnym podgrzewaczu powietrza WPP lub parowym podgrzewaczu powietrza PPP nie występują problemy zanieczyszczenia powierzchni grzewczej w przestrzeni międzyrurowej.

Rury omywane z zewnątrz spalinami odsiarczonymi ze skrubera zanieczyszczone są wilgotnymi cząstkami wapna procesowego. Mogą wystąpić również zniszczenia korozyjne dolnych partii rur, spowodowane obecnością kwasu siarkowego w nie w pełni odsiarczonych spalinach. Z tych względów projektu-

REKUPERACYJNE WYMIENNIKI CIEPŁA GAZ-GAZ



REKUPERACYJNE WYMIENNIKI CIEPŁA GAZ-CIECZ



Rys. 2. Schematyczne rozwiązania konstrukcyjne wymienników ciepła w systemie kondycjonowania spalin kotłowych w UOS

Fig. 2. Schematic layout of heat exchangers for the flue gas conditioning in FDS (UOS)

je się wkłady z rur o grubszych ściankach (ϕ 76 x 2,9, 76 x 3,2) oraz przewiduje demontaż poszczególnych rur z dna sitowego.

Rysunek 2 obrazuje schematycznie zastosowane rozwiązania konstrukcyjne urządzeń w systemie kondycjonowania spalin, kierunki biegów strumieni czynników, przykładowy rozkład temperatur.

3.2. Rekuperacyjne wymienniki ciepła gaz – ciecz (para wodna)

Rekuperacyjne wymienniki ciepła pomiędzy czynnikami gazowymi (spaliny, powietrze) i cieczami (woda chłodząca, woda grzewcza, glikol) lub parą wodną budowane są w postaci wkładów rurowych o jednostronnie rozwiniętej powierzchni w układzie pęczkowym. Wymienniki te w rozwiązaniach koncepcyjnych nowej generacji instaluje się w UOS jako:

- rekuperacyjne rurowe schładzacz spalin za pomocą wody chłodzącej RSS (W1),
- rekuperacyjne rurowe podgrzewacze spalin parą wodną lub wodą z obiegu ciepłowniczego RPS (W1),
- wstępne podgrzewacze powietrza WPP, PPP (W5),
- wymienniki z pośrednią cieczą obiegową (W2).

Z uwagi na wysoką wartość współczynników wnikania ciepła α_w od czynnika cieczowego i pary oraz niskie wartości α_s po stronie gazowej projektuje się zewnętrznie ożebrowane powierzchnie wymiany ciepła. Najnowocześniejszym elementem grzewczym jest:

RURA BIMETALOWA WYSOKOŹEBROWANA RBW 00-25/57-5.0 [28] posiadająca stalową rurę rdzeniową (K10 °III, K18 °III) i aluminiową koszulkę ożebrowaną. Rury te stosujemy jako powierzchnie grzewcze podgrzewaczy powietrza WPP, PPP. Powierzchnie grzewcze omywane spalinami z uwagi na możliwość występowania chloru i zasadowych zanieczyszczeń z absorbera projektuje się z rur ożebrowanych z innych materiałów kolorowych.

Konstrukcja tych wymienników, rozwijana przez zespół autorów od wielu lat [29], sprawdzila się w eksploatacji przemysłowej w EL. BEŁCHATÓW, EL. OPOLE, EL. ŁAGISZA, EL. DOLNA ODRA, EL. TAI YUAN (ChRL) i in.

3.3. Regeneracyjne gazowe wymienniki ciepła

Regeneracyjne obrotowe schładzacz/podgrzewacze spalin ROSS, pracujące wg systemu LJUNGSTRÖM (niemiecka nazwa Gasvorwärmer GAVO), instalowane są w UOS wielkich bloków energetycznych [12, 22,23, 24].

Z uwagi na skomplikowaną konstrukcję, konieczność obsługi, mechaniczny napęd wirnika i koszty inwestycyjne urządzeń tych dla przedmiotowych zastosowań w ciepłowniach z kotłami rusztowymi nie przewiduje się, choć nie ma ku temu zdecydowanych przeciwwskazań.

3.4. Wymienniki mieszankowe gazowe. Komory mieszania

Warianty 4 i 5 przewidują zastosowanie w systemie wymiennika mieszanekowego komory mieszania. Następuje tu wymiana ciepła i masy strumieni spalin odsiarczonych z absorbera oraz powietrza podgrzanego w celu podniesienia temperatury spalin.

Wprowadzenie w obieg obcego procesowo czynnika – powietrza o wysokiej temperaturze i normalnym zawilżeniu ($X = 10 \text{ gH}_2\text{O/kg.pow.such.}$) w komorze mieszania – pozwala na obniżenie stopnia zawilżenia spalin i wzrost temperatury. Jako niekorzystne należy tu uznać konieczność transportu tego powietrza, podgrzew i zrzućenie podgrzanego powietrza do otoczenia wraz ze spalinami. Obciąża to wentylator WC, kanały spalin i komin.

Komory mieszania stanowią skrzynie z kanałami dolotowymi czynników: powietrza, spalin odsiarczonych, spalin surowych. W kanałach zabudowane są systemy regulacji nadążnej z klapami segmentowymi (żaluzje). W komorach na drodze mediów instaluje się dodatkowe okapniki, kierownice w celu oddzielenia kropeł wilgoci. Dolne części komór konstruowane są w postaci leja szlamowego o odpowiednio zabezpieczonych ściankach.

3.5. Odpylacze spalin

W ciepłowniach z kotłami rusztowymi jako odpylacze instaluje się cyklony i multicyklony. W ekologicznych kotłowniach instaluje się odpylające baterie filtrów workowych. W proponowanych rozwiązaniach W3, W4, W5 zaniechano zabudowy odpylaczy przed układem kondycjonowania spalin dla uniknięcia nadmiernego schłodzenia. Funkcje te przejmuje komora osadczą wymiennika ciepła jako odpylacz wstępny. Końcowe odpylanie (mokre) następuje w absorberze UOS przy przejściu spalin przez kurtyny wodne.

Odmgławiacze spalin za absorberami i leje szlamowe w komorach mieszania wychwytyują resztki pyłów w postaci szlamu.

3.6. Odmgławiacze

Natrysk strumienia spalin alkaliczną wodą procesową, przejście spalin przez kurtyny wodne w skrubkach (absorberach SO_x) w mokrych metodach desulfuryzacji powodują znaczny wzrost zawilżenia spalin. Przy pełnym nasyceniu strugi spalin ($X = 1$) woda niesiona jest w postaci mgły w znacznych ilościach [26]. Wobec niepełnego odsiarczenia spalin ($\eta_{\text{DESOX}} = (80 + 90)\%$), przy obniżeniu temperatury poniżej temperatury rosy, w obszarze wentylatora ciągu WC osadzają się krople roztworu kwasu siarkowego, powodując przyspieszoną korozję elementów wentylatora, głównie obudowy i wirników.

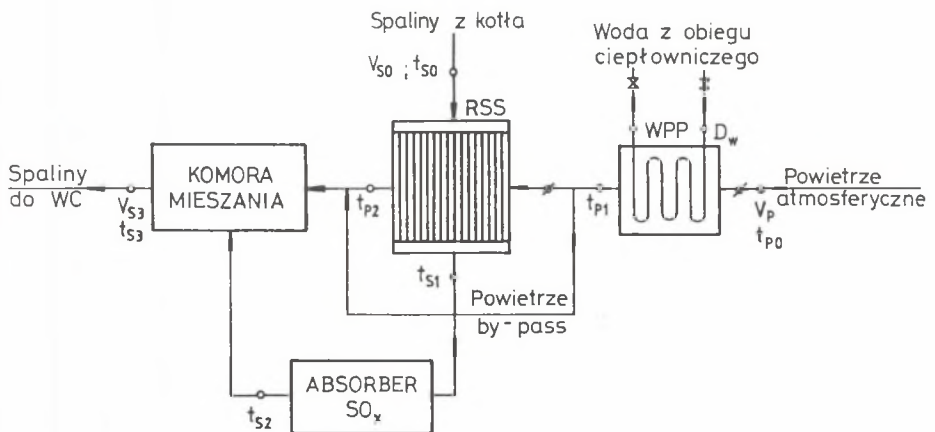
Podgrzewanie spalin do takiego poziomu temperatury, aby nastąpiło odparowanie mikrokropeł mgły, pochłania duże ilości ciepła i byłoby ekonomicznie nieuzasadnione, zabezpieczenie antykorozyjne wentylatora ciągu i odprowadzanie skroplonej mgły jest również uciążliwe.

Z powyższych względów w systemach kondycjonowania spalin instaluje się odmgławiacze (demistry), których zadaniem jest pozbowienie strumienia spalin mgły utworzonej z czynnika procesowego UOS.

Odmgławiacze w prostych układach stanowią system krat, siatek, kierownic, przegród zaburzających (zawirujących) strugę spalin. Mgła wodna wraz z cząstkami popiołu i wapna osadza się na tych elementach. Impulsem do czyszczenia czy wymiany filtra jest kontrolowany wzrost oporów przepływu spalin przez filtr. Odmgławiacze układów skomplikowanych to system multi-cyklonów.

4. AUTORSKA KONCEPCJA ROZWIĄZAŃ IDEOWYCH SYSTEMU KONDYCJONOWANIA SPALIN W UKŁADACH ODSIARCZANIA SPALIN CIEPŁOWNI Z KOTŁAMI RUSZTOWYMI

Wnikliwa analiza dodatnich i ujemnych cech wariantowych rozwiązań systemu kondycjonowania spalin, poparta cyklem obliczeń termo-przepływowych dla parametrów projektowanej ciepłowni, wyposażonej w kotły WR 25, pozwoliła na wybór autorskiej koncepcji rozwiązania ideowego systemu. (Schemat blokowy systemu przedstawia rys. 3).



Rys. 3. Blokowy schemat cieplno-przepływowy zmodyfikowanego systemu kondycjonowania spalin w SS/PS dla układu odsiarczania spalin z kotła WR 25

Fig. 3. Heat flow block diagram of modified flue gas conditioning system of WR 25 stoker boiler

4.1. Zasada działania zmodyfikowanego systemu kondycjonowania spalin SS/PS

System SS/PS działa zgodnie z niżej przedstawioną ideą [26]. Spaliny surowe z kotła (nieodsiarczane, nieodpylone) w strumieniu V_{s0} o temperaturze t_{s0} wpływają do rekuperacyjnego rurowego schładzacza spalin RSS. Przepływają wewnątrz pionowych prostoosiowych rur ϕ 76,1 x 2,9 zgrupowanych w pęczek o konfiguracji $s_1 = 130$, $s_2 = 125$. Spaliny odpylane są wstępnie w komorze osadze i płyną do absorbera. Powietrze atmosferyczne w strumieniu V_p o temperaturze otoczenia t_{p0} wstępnie podgrzane jest w wodnym podgrzewaczu powietrza WPP do temperatury t_{p1} . W WPP powietrze płynie jednobiegowo. WPP zasilany jest strumieniem D_w wody z obiegu ciepłowniczego obiektu o parametrach obiegu. Woda podgrzana wraca do obiegu ciepłowniczego.

Wstępnie podgrzane powietrze wprowadzane jest do przestrzeni międzyrurowej RSS, schładzając spaliny do temperatury t_{s1} i podgrzewa się do temperatury t_{p2} . Powietrze w RSS przepływa 3-biegowo. Powietrze wysoko podgrzane o normalnym zawilgoceniu wprowadzane jest do komory mieszania, gdzie wprowadzane są odsiarczone spaliny z absorbera SO_x o wysokim zawilgoceniu. Czynnik gazowy w strumieniu V_{s3} na wylocie osiąga poziom temperatury t_{s3} wyższy o $\Delta t = (20 \div 30)K$ powyżej temperatury punktu rosy.

Przewiduje się kanał by-pass powietrza z pominięciem przez część strumienia schładzacza spalin RSS. Taki kierunek biegu powietrza wystąpi przy pracy kotła z minimalnym 40% obciążeniem. Przy występujących wówczas niskich temperaturach spalin może wystąpić rosenie wewnątrz rur. Temperatura punktu rosy nieodsiarczonych surowych spalin jest podwyższona.

Zmodyfikowany system kondycjonowania spełnia ideowe funkcje termoprzepływowe schłodzenia i podgrzewu spalin, zapewniając właściwy przebieg procesu odsiarczania w absorberze oraz zapobiega zjawisku korozji siarkowej wentylatorów WC, kanałów spalin i komina. Wszystkie trudne konstrukcyjnie wymienniki ciepła omywane są w niedostępnej remontowo przestrzeni międzyrurowej czystym, suchym, niekorozyjnym powietrzem atmosferycznym.

Tablica 2 prezentuje cechy geometryczne wymienników ciepła i podstawowe parametry w węzłowych punktach systemu dla przykładowego obiektu z kotłem WR 25.

Obliczenia cieplne i aerodynamiczne wymienników ciepła w systemie SS/PS wykonano na podstawie własnych użytkowych programów komputerowych HEAT-06, HEAT-08. [26]

Tablica 2

Zestawienie cech geometrycznych wymienników ciepła projektowych parametrów mediów w węzłowych punktach systemu SS/PS. (100% obc. kotła)

Lp.	Wyszczególnienie	Symbol	Wymiar	Wymiennik ciepła		
				Wodny podgrzewacz powietrza WPP	Rekuperacyjny schładzacz spalin RSS	Komora mieszania KM
1	<p>Układ geometryczny wymiennika</p> <ul style="list-style-type: none"> - kanał czynnika gazowego - rura grzewcza - podziałka poprzeczna - podziałka wzdłużna - ilość rur w I rzędzie - ilość rzędów rur - ilość rur wkładu - powierzchnia grzewcza 	<p>a x b</p> <p>typ</p> <p>s₁</p> <p>s₂</p> <p>z₁</p> <p>z₂</p> <p>z</p> <p>A</p>	<p>mm</p> <p>—</p> <p>mm</p> <p>mm</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>m²</p>	<p>2580 x 2000</p> <p>RBW-00-25/57-5.0</p> <p>60</p> <p>60</p> <p>33</p> <p>12</p> <p>390</p> <p>893</p>	<p>2000 x 2580</p> <p>rura gładka φ 76,1 x 2,9</p> <p>130</p> <p>125</p> <p>20</p> <p>20</p> <p>390</p> <p>560</p>	<p>wymiennik mieszan- kowy bezprzeponowy, bez wkładu rurowego</p>
2	<p>Parametry mediów</p> <p>Powietrze:</p> <ul style="list-style-type: none"> -- strumień - temperatura na wlocie WPP - temperatura na wylocie WPP - temperatura na wlocie RSS - temperatura na wylocie RSS <p>Spaliny:</p> <ul style="list-style-type: none"> - strumień na wlocie RSS - strumień na wylocie KM - temperatura na wlocie RSS - temperatura na wylocie RSS - temperatura na wlocie KM - temperatura na wylocie KM 	<p>V_p</p> <p>t_{p0}</p> <p>t_{p1}</p> <p>t_{p1}</p> <p>t_{p2}</p> <p>V_s</p> <p>V_{s3}</p> <p>t_{s0}</p> <p>t_{s1}</p> <p>t_{s2}</p> <p>t_{s3}</p>	<p>m³/h</p> <p>°C</p> <p>°C</p> <p>°C</p> <p>°C</p> <p>m³/h</p> <p>m³/h</p> <p>°C</p> <p>°C</p> <p>°C</p> <p>°C</p>	<p>20000</p> <p>-25</p> <p>70</p> <p>70</p> <p>133</p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p>65300</p> <p></p> <p>165</p> <p>147</p> <p></p> <p></p>	<p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p></p> <p>85300</p> <p></p> <p></p> <p>43</p> <p>59</p>

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Poz. 92 MOŚZNiL z dnia 12 lutego 1990 r. w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem. Dz. U RP Nr 15 Warszawa 14.03.1990 r.
- [2] GBSiE ENERGOPROJEKT: Biuletyn Techniczny nr 3–4, Warszawa 1986.
- [3] Forstenlenner L. Voest–Alpine A.G.: Technologia oddzielania tlenków siarki i azotu z gazów spalinowych. Dni techniki austriackiej. Warszawa–Katowice 1987.
- [4] ABB Projekt–Raport: Leitanlagen für Rauchgas–Reinigungsanlagen eines Großkraftwerks im Rheinisch–Westfälischen Braukohlerevier. ASEA BROWNBOVERI. Materiały ofertowe.
- [5] Rauchgas – Entschwefelungsanlagen für Kohlekraftwerke. ABB. Materiały ofertowe.
- [6] Flue gas Desulphurization Plants. EVT Energie – und Verfahrenstechnik GmbH. Materiały ofertowe.
- [7] Flue gas Desulphurozation Plants. Dry Scrubbing. EVT GmbH. Firmowe materiały ofertowe.
- [8] Das Verfahren zur nassen Rauchgas – Entschwefelung KRC Umwelttechnik. Materiały ofertowe.
- [9] Goossens W.H.P., Van Loou P.C.: Doświadczenia z pierwszego roku eksploatacji największej w Europie instalacji odsiarczania spalin z pojedynczym absorberem. ESTS, EPS Holandia.
- [10] Rauchgasentschwefelung und Abgasreinigung. Saarberg – Hölter – Lurgi GmbH (SHL).
- [11] Instalacje odsiarczania spalin. Referenzliste der Saarberg – Hölter – Lurgi Anlagen. Lista referencyjna.
- [12] Kraftanlagen Heidelberg: Ljungström Gavo an Rea in Betrieb. Lista referencyjna KAH. Heidelberg.
- [13] Steinmüller. Rauchgasreinigung. Materiały ofertowe.
- [14] Die Flexible Rauchgasentschwefelung. DRYPAC. Firmowe materiały ofertowe.
- [15] PNEM Amercentrale 8. Fluegas Desulphurization Retrofit for 645 MWe Block. Devision Energy and Environment.
- [16] The CHIYODA Thoroughbred 121 Flue Gas Desulphurization Process. Technical Data. CHIYODA Corporation. October 1988. Firmowe materiały badawcze.
- [17] Tatsuichiro Hiruta, Takanori Nakamoto, Akira Mori: Advanced SO_x Removal System for Utility Boiler. Hitachi Revjem Vol. 38 1989, no 3. Kure Works. Babcock – Hitachi K.K. Power Generation & Delivery. Division. Hitachi, Ltd.

- [18] Hitachi Wet Limestone – Gypsum. Flue Gas Desulphurization (FGD) System. Hitachi Ltd. Babcock – Hitachi K.K. Tokyo. Japan. Firmowe materiały badawcze.
- [19] Doyle John B. i inni: Dry scrubber 10 years later. The Babcock & Wilcox Company. Colorado. Firmowe materiały badawcze. Association of Rural Electric. Generating Co – Operatives Annual Meeting. Baton Rouge. Louisiana 1990.
- [20] Wijdeveld H.W.J.L Recent Developments in Reduction of Costs of Flue Gas Desulphurization Systems in the Netherlands. A Consulting. Engineering and Contracting Company of Hoogovens Group. Ymuined. Netherlands. Firmowe materiały badawcze.
- [21] Projekt koncepcyjny i wykonawczy schładzacza spalin kotłowych do układu odsiarczania spalin kotłowych. Etap I. projekt wstępny. Praca naukowo-badawcza niepublikowana. NOT Zespół Usług Technicznych. Katowice 1988.
- [22] Urząd Patentowy PRL. Sposób odsiarczania i końcowego odpylania spalin kotłowych oraz instalacja do odsiarczania i końcowego odpylania spalin kotłowych. Patent nr 159567 B01D 53/54.
- [23] Cwynar L., Walewski A.W., Otte J. i inni: Badania modelowe i opracowanie koncepcji rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń w układach odsiarczania spalin kotłowych. Projekt badawczy G-554/RME-2/91, Politechnika Śląska. Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych. Gliwice 1991.
- [24] Walewski A.W., Wojnar W.: Badania wymiany ciepła oporów przepływu wymienników regeneracyjnych w układach odsiarczania spalin. Badania kierunkowe IMiUE Pol. Śląskiej, 1993.
- [25] BPPS BIPROSKÓR: Instalacja do jednoczesnego odpylania i odsiarczania spalin kotłowych. Kraków 1993.
- [26] Rataj Z., Walewski A.W., Wojnar W.: Analiza termodynamiczna i hydrodynamiczna wymiennika ciepła w układzie odsiarczania spalin kotłów WR 25 w Ciepłowni Miejskiej w Trzebini. Praca badawcza. PU-PiWPT WIROPOL sp. z o.o. Gliwice, 1994.
- [27] Rataj Z., Walewski A.W., Wojnar W.: Analiza i ocena projektu technicznego instalacji odsiarczania i odazotowania spalin z kotłów K61 – K64 Elektrowni Zabrze. Ekspertyza. PU-PiWPT WIROPOL s. z o.o. Gliwice, 1994.
- [28] Fabryka Aparatury i Urządzeń FAMET SA: Bimetallic Finned Tubes. Aktualizacja danych technicznych. Katalog firmowy. Kędzierzyn Koźle 1994.

- [29] Walewski A.W., Wojnar W., Pękala St.: Parowe podgrzewacze powietrza kotłów energetycznych. Konstrukcja obliczenia, badania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Energetyka z. nr 113. Gliwice 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Władysław GAJEWSKI

Wpłynęło do Redakcji 10.03.1994 r.

Abstract

The domestic municipal heating systems based on WR 25-stoker boilers, burned by a bituminous coal are not upgraded with European SO₂ emissions rules. Flue gas desulfurization based upon wet lime/limestone technology is only practicable solution for polish technical and economical conditions. In the future it will be probably the most efficient technology of controlling SO₂ emissions.

In a flue gas desulfurization system, flue gas, having the temperature of $t_3 = (110 \div 180)^\circ\text{C}$ before it will go into an absorber should be cooled down to the temperature of $t_4 \leq (80 \div 90)^\circ\text{C}$. Clean gas in the absorber is being more cooled to the temperature of $t_1 = (40 \div 50)^\circ\text{C}$. A flue gas desulfurization process has its optimal efficiency of $\eta = (80 \div 90)\%$. To avoid low temperature sulfur acid corrosion and to give better stack conditions, clean gas should be warmed up to the temperature of $t_4 \geq (80 \div 100)^\circ\text{C}$. Thermal and flow systems of the cooling and warming up processes have a different solutions, eg. they have several heat exchangers, and different working agents.

In this paper were some terms and the sistematic of this system's layout given. The estimation of an advantages and faults of known systems has been stated. Based on calculations, the system and plant specification of author's own solution for municipal heating station, has been presented. The detailed description of the recuperative type of heat exchangers for flue gas desulfurization plants was given.