

Nowy blok energetyczny o mocy 910 MW na parametry nadkrytyczne opalany węglem kamiennym w Elektrowni Jaworzno III – rozwiązania projektowe kotła

New 910 MW coal-fired power unit with ultra-supercritical steam parameters in *Elektrownia Jaworzno III* – boiler design solutions

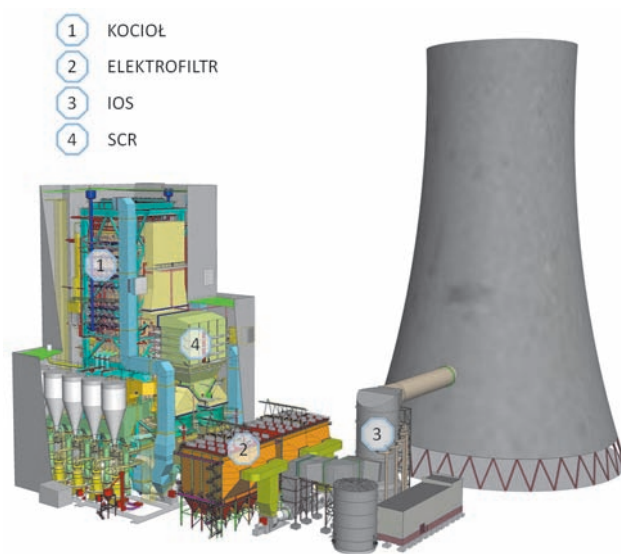
W dniu 17 kwietnia 2014 roku podpisano kontrakt pomiędzy TAURON Wytwarzanie S.A. a Konsorcjum RAFAKO S.A. (lider) – Mostostal Warszawa S.A. na budowę pod klucz bloku energetycznego. Kontrakt podpisano w formule obejmującej projekt, realizację i uruchomienie bloku (EPC). Moc bloku brutto, jako podstawowy parametr określający jego wielkość, czyli również wielkość i parametry wszystkich urządzeń i instalacji wchodzących w jego skład, będzie wynosiła 910 MW. Sprawność netto bloku przyjęto na poziomie bliskim 46%. Kompletny zakres prac objętych kontraktem powinien zostać ukończony w terminie 59 miesięcy od jego podpisania. Podstawowy okres gwarancji wynosi 24 miesiące od podpisania protokołu przejęcia bloku do eksploatacji.

W niniejszym artykule przedstawiono rozwiązania techniczne integralnej części bloku, jaką jest kocioł.

Kocioł

W komorze spalania (o wymiarach 19,745 m x 19,745 m) będzie zastosowany tangencjonalny system spalania, z palnikami usytuowanymi w narożach paleniska. Palniki zastosowane w kotle będą wyposażone w mechanizmy pochylenia dysz. Jedną z zalet palników uchylnych jest zdolność regulacji wysokości położenia jądra płomienia. Zapewnia to stałe parametry pary w dużym zakresie obciążeń oraz dla szerokiego zakresu paliwa węglowego, przy minimalnym zużyciu wody wtryskowej do regulacji temperatury pary wtórnie przegrzanej, co w rezultacie prowadzi do wyższej sprawności bloku (tab.1). Dodatkowo dysze palników na poszczególnych poziomach zostaną rozdzielone na dysze mieszanki pyłowo-powietrznej bogatej i ubogiej, co wpłynie korzystnie na emisję NO_x oraz stabilność spalania przy minimalnym obciążeniu kotła. W celu ograniczenia szlakowania kotła na ścianach komory paleniskowej zostaną zabudowane armatki wodne do oczyszczania ścian oraz zdmuchiwalce parowe do oczyszczania węzownic powierzchni ogrzewalnych kotła.

Wszystkie powierzchnie ogrzewalne są w pełni odwadnialne i zaprojektowane na długotrwałą eksploatację. Przepływ czynnika w powierzchniach ogrzewalnych jest współprądowy do kierunku przepływu spalin, z wyjątkiem przegrzewaczy pary pierwotnej (SH2a,b i SH3) oraz pierwszego stopnia przegrzewacza pary wtórnej (RH1), które są w układzie przeciwproudowym. Podgrzewacz wody (ECO) jest zaprojektowany jako przeciwi- i współprądowy. Podstawowe urządzenia wyspy kotłowej pokazano na rysunku 1, natomiast sylwetkę kotła wraz z lokalizacją powierzchni wymiany ciepła na rysunku 2.



Rys. 1. Widok na wyspę kotłową wraz z chłodnią kominową

Instalacja powietrza i spalin zostanie zaprojektowana w układzie dwunitkowym z dwoma obrotowymi podgrzewaczami powietrza, dwoma wentylatorami podmuchu oraz dwoma elektrofiltrami i dwoma wentylatorami ciągu. Dzięki takiemu rozwią-

zaniu blok uzyska wysoką dyspozycyjność – nawet w przypadku wypadnięcia obrotowego podgrzewacza powietrza bądź wentylatora spalin, będzie możliwa praca bloku z zaniżoną mocą.

Tabela 1

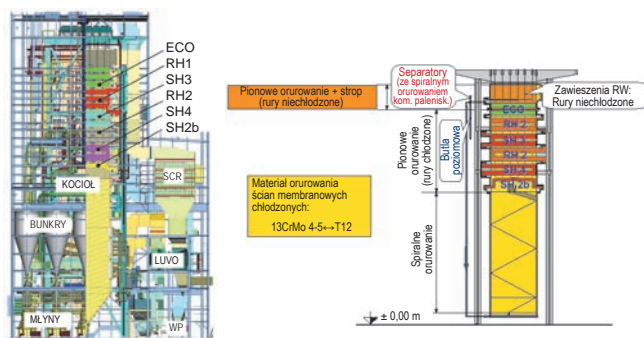
Podstawowe dane techniczne obiegu para – woda

Wyszczególnienie	Jednostka	Wartości dla: 100% WMT-WN ¹⁾
Przepływ pary świeżej dla osiągnięcia mocy bloku 910 MW przy temperaturze otoczenia 12°C i wodzie chłodzącej kondensator 16,7°C	kg/s Mg/h	657,74 2367,9
Przepływ pary wtórnie przegrzanej	kg/s Mg/h	539,54 1942,33
Temperatura pary świeżej za kotłem/przed turbiną	°C	603,2 / 600,0
Temperatura pary wtórnej przegrzanej za kotłem/przed turbiną	°C	611,0 / 610,0
Temperatura pary wtórnej (zimnej) na wylocie z turbiny /przed kotłem	°C	360,7 / 360,0
Ciśnienie pary świeżej za kotłem/przed turbiną	MPa	28,51 / 27,51
Ciśnienie pary wtórnej przegrzanej za kotłem/przed turbiną	MPa	5,93 / 5,80
Ciśnienie w zbiorniku wody zasilającej	MPa	1,17
Temperatura w zbiorniku wody zasilającej	°C	187
Ciśnienie wody zasilającej na wlocie do kotła	MPa	32,41
Temperatura wody zasilającej na wlocie do kotła	°C	305,5
Ciśnienie pary wylotowej w skraplaczu	kPa	3,36 / 3,70

¹⁾ Parametry kotła/turbiny dotyczą warunków pracy turbozespołu po 12-tu miesiącach od PAC (Provisional Acceptance Certificate). Maksymalna wydajność kotła (WMT kotła) dająca 3% zwiększenie mocy bloku (937,5 MW) po 12-tu miesiącach od PAC wynosi 678,9 kg/s. Przepływ pary w warunkach znamionowych (WMT-WN) dla czystej turbiny wynosi 656 kg/s (blok osiąga 910 MW).

Elementy części ciśnieniowej kotła

Na rysunku 2 pokazano przekrój kotła wraz z aranżacją głównych powierzchni ogrzewalnych bloku 910 MW.



Rys. 2. Przekrój przez kocioł oraz szczegóły orurowania ścian membranowych

Podgrzewacz wody

Podgrzewacz wody (ECO), jako w pełni odwadniany układ rurowy, jest ulokowany w końcowej części ciągu konwekcyjnego kotła (rys. 2). Dobry podgrzewacz wody posiada wystarczającą rezerwę temperaturową, aby zabezpieczyć się przed odparowaniem wody, nawet przy minimalnym przepływie występującym przy obciążeniu kotła odnoszącym się do wymaganego minimum technicznego bloku. Aby zapewnić spadek ciśnienia bez ujemnego wpływu na stabilność przepływu, podgrzewacz wody zaprojektowano w układzie przepływu przeciw i współprądowego.

Komora paleniskowa/parownik

Ekran komory paleniskowej wraz z lejem tworzą parownik. Ściany membranowe leja i komory paleniskowej wykonane są w formie ścian szczelnych, składających się z rur i spawanego płaskownika. Rury w ekranach leja i komory paleniskowej zabudowane są w układzie spiralnym (ekran spiralny). Projekt ekranów spiralnych oparto na doświadczeniach w odniesieniu do kotłów przepływowych, aby zapewnić wystarczające chłodzenie i bezpieczną pracę przy obciążeniu częściowym. Na podstawie analizy węgla, wysokość komory paleniskowej jest zaprojektowana dla zapewnienia prawidłowej temperatury spalin na wylocie z komory paleniskowej, aby zredukować ryzyko wystąpienia szlakowania na powierzchniach ogrzewalnych.

Na materiał ścian szczelnych komory paleniskowej i ciągu konwekcyjnego przyjęto stal 13CrMo4-5 (T12). Ściany membranowe leja i komory paleniskowej, uformowane z rur skośnych, podwieszane są do ścian ciągu konwekcyjnego przy pomocy pionowych taśm nośnych rozmieszczonych na całym obwodzie komory paleniskowej. Czynnik ze skośnych rur komory paleniskowej, poprzez specjalne odkuwki, zbierany jest w komorach pośrednich. Z komór pośrednich czynnik kierowany jest do czterech cyklonów układu separacji pary.

Przegrzewacze pary

Para z układu separacji kierowana jest do dolnych komór wlotowych ścian membranowych ciągu konwekcyjnego uformowanych z rur pionowych. Ściany te tworzą pierwszy stopień przegrzewacza pary pierwotnej SH1. Ściany membranowe ciągu konwekcyjnego podwieszane są, poprzez system cięgien, do rusztu nośnego konstrukcji stalowej kotła. Komory wylotowe parownika ulokowane są na przedniej, tylnej i bocznych ścianach kotła. Górna część ciągu konwekcyjnego i strop kotła wykonane są z niechłodzonych rur, spawanych szczelnie z płaskownikiem. Z komór wylotowych ścian ciągu konwekcyjnego para poprzez układ rurociągów kierowana jest do komór wlotowych wewnętrznych rur wieszakowych SH2a+SH2b.

Układ przegrzewacza pary pokazany jest na rysunku 2. System przegrzewacza składa się z przegrzewacza pary pierwotnej oraz przegrzewacza pary wtórnej. Rury przegrzewacza są zabudowane w płatach, jako poziome pęczki zawieszane na rurach wieszakowych, które są również włączone do obiegu pary.

Część paleniskowa kotła

Kocioł będzie wyposażony w niskoemisyjne palenisko tangencjonalne z palnikami strumieniowymi oraz systemem stopniowania powietrza (dysze SOFA). Kocioł będzie opalany węglem kamiennym o charakterystyce podanej w tabeli 2.

Tabela 2

Dane węgla (paliwo podstawowe)

Węgiel		Graniczny górny		Gwarancyjny	Graniczny dolny	
Wartość opałowa	MJ/kg	21,0	21,0	19,2	18,5	18,5
Zawartość wilgoci	%	21,0	13,0	21,0	26,0	13,0
Zawartość popiołu	%	7,0	16,0	13,0	10,0	24,0
Zawartość siarki	%	1,0	1,0	1,2	1,6	1,6

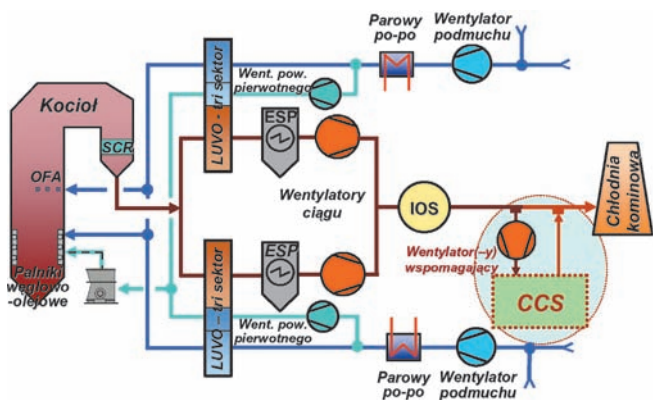
Przewiduje się, że metodą pierwotną, w zależności od jakości spalanej paliwa, uzyska się emisję rzędu 350 mg/m_n^3 . Ponadto zostanie zastosowany katalityczny system redukcji tlenków azotu. Dzięki temu uzyska się odpowiednio niskie zużycie wody amoniakalnej przy niskiej wymaganej ilości amoniaku resztkowego w spalinach.

Instalacja powietrza i spalin

Powietrze świeże będzie zasysane przede wszystkim z górnej części kotłowni lub z zewnątrz, w przypadku gdy temperatura otoczenia spadnie poniżej 10°C . Po stronie tłocznej wentylatorów poddmuchu powietrza zabudowane będą parowe podgrzewacze powietrza zapewniające wymaganą temperaturę powietrza dla zapewnienia temperatury spalin na poziomie powyżej punktu kwaśnego rosy za obrotowymi podgrzewaczami.

Kocioł będzie wyposażony w dwa wentylatory powietrza (poddmuchu) i dwa wentylatory powietrza pierwotnego (młynowego) pracujące w układzie szeregowym (rys. 3). Za wentylatorami powietrza młynowego część powietrza będzie kierowana do wydzielonej sekcji pierwotnej obrotowych podgrzewaczy powietrza, a pozostała część oddzielnym przewodem będzie kierowana do kolektora zimnego powietrza młynowego. Przed młynami nastąpi zmieszanie powietrza gorącego i powietrza zimnego w odpowiednich proporcjach w celu osiągnięcia wymaganej temperatury mieszanki pyłowej.

Przy WMT-WN spaliny opuszczające kocioł będą miały temperaturę ok. 390°C , po przejściu przez SCR i obrotowe podgrzewacze powietrza ich temperatura wyniesie ok. 120°C (ze względu na ochronę zimnego końca LUVO przed negatywnym wpływem wysokiej temperatury kwaśnego punktu rosy). Kocioł został zaprojektowany w układzie dwunitkowego traktu spalinowego.



Rys. 3. Uproszczony schemat spaliny-powietrze

Za podgrzewaczami powietrza spaliny doprowadzane będą do dwóch elektrofiltrów poprzez rozgałęzienie umożliwiające prawidłowy rozdział spalin na poszczególne sekcje elektrofiltru. Następnie spaliny będą kierowane do dwóch wentylatorów ciągu. Za wentylatorami ciągu kanały spalin łączą się w jeden kanał prowadzący do Instalacji Odsiarczania Spalin.

Wentylatory

Kocioł będzie wyposażony w dwa osiowe wentylatory poddmuchu (rys. 4). Wentylatory będą miały parametry dobrane do potrzeb związanych z ich przeznaczeniem, tak aby możliwa była poprawna i niezawodna praca w całym zakresie obciążeń kotła. Za wentylatorami poddmuchu będą zainstalowane promieniowe wentylatory powietrza pierwotnego (młynowego), pracujące w układzie szeregowym. Powietrze do wentylatora młynowego będzie pobierane z tłoczenia wentylatora poddmuchu. Zadaniem wentylatorów powietrza pierwotnego będzie spiętrzenie powietrza młynowego do wymaganych parametrów umożliwiających pokonanie oporów młynów, przewodów mieszanki pyłowej i palnika.

Kocioł będzie współpracował z dwoma osiowymi wentylatorami spalin służącymi do usuwania spalin. Przepływ będzie regulowany poprzez zmianę kąta ustawienia łopatek wirnika.

Palniki pyłowe

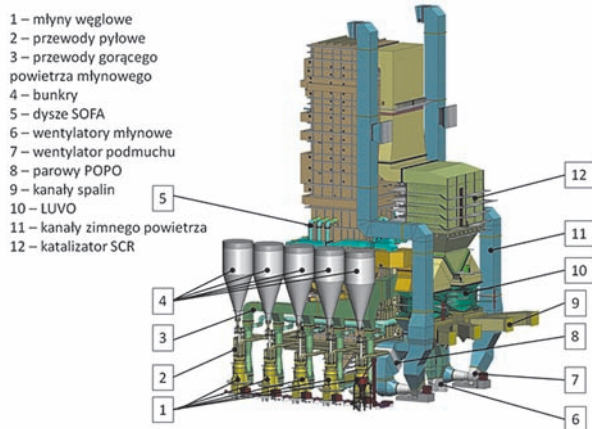
Zastosowane będą palniki strumieniowe, narożne, w układzie tangencjalnym. Niskoemisyjne palniki strumieniowe będą zabudowane w narożach komory paleniskowej w taki sposób, że każdy młyn będzie obsługiwał jeden poziom dysz pyłowych każdego palnika, składający się z dwóch dysz.

Nowoczesne palniki, w jakie wyposażony zostanie kocioł, zapewniają stabilną pracę w zakresie 40-100% WMT bez wspomaganie palnikami olejowymi.

Instalacja młynowa

Do suszenia i rozdrabniania węgla zastosowanych będzie 5 młynów misowo-rolkowych, pracujących w układzie 4+1 (cztery młyny pracują, a jeden stanowi rezerwę). Młyny będą wyposażone w separatory dynamiczne, co zapewni dobry przebieg i równomierny rozdział węgla na palniki.

Paliwo dostarczane będzie do młynów za pomocą grawimetrycznych podajników węgla, znajdujących się pod kołnierzami wylotowymi bunkrów. Węgiel podawany będzie przez centralną rurę zasilającą do miski mielącej, napędzanej zespołem przekładni redukcyjnych. Powietrze pierwotne dochodzi do komory mielenia od dołu poprzez pierścień łopatkowy, który obraca się razem z miską. Obrotowy pierścień łopatkowy powoduje równomierny rozdział mielonego węgla w młynie i umożliwia korzystne warunki procesu separacji w odsiewaczu. Temperatura mieszanki pyłowo-powietrznej za młynami będzie utrzymywana na poziomie $70-120^\circ\text{C}$ podczas normalnej eksploatacji kotła.



Rys. 4. Układ paleniskowy

- [1] Kontrakt pomiędzy *TAURON Wytwarzania S.A.* a Konsorcjum *RAFAKO S.A.* – *Mostostal Warszawa S.A.* na budowę pod klucz bloku energetycznego 910 MW w *Elektrowni Jaworzno III* – *Elektrownia II.*
- [2] Specyfikacja istotnych warunków zamówienia na budowę nowych mocy w technologiach węglowych w *TAURON Wytwarzania S.A.* – Budowę bloku energetycznego o mocy 800-910 MW na parametry nadkrytyczne w *Elektrowni Jaworzno III* – *Elektrownia II* w zakresie: kocioł parowy, turbozespół, budynek główny, część elektryczna i AKPiA bloku.
- [3] Projekt Podstawowy Bloku 910 MW w *Elektrowni Jaworzno III* – materiały i rysunki *RAFAKO S.A.*



Mirosław Witoś

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (ITWL)

Prace badawczo-rozwojowe metody magnetycznej pamięci metalu¹⁾

Research and development of the metal magnetic memory method

W polskich elektrowniach zawodowych od kilkunastu lat przedłużana jest trwałość eksploatacyjna bloków energetycznych. Realizowane prace wymagają od użytkownika i zakładów remontowych coraz większej uwagi diagnostycznej oraz stosowania wiarygodnych metod oceny stanu technicznego krytycznych elementów konstrukcji.

W artykule przedstawiono kompleksowe podejście do uwiarygodnienia metody magnetycznej pamięci metalu (MPM) [1, 2] – unormowanej, ale ciągle kontrowersyjnej metody magnetycznej badań nieniszczących (NDT, ang. **Non-Destructive Testing**), której autorzy i jej użytkownicy od ponad 40 lat deklarują możliwość wiarygodnej identyfikacji wczesnej fazy degradacji mikrostruktury i detekcji stref koncentracji naprężeń (SKN), a jej przeciwnicy podważają jej wiarygodność i celowość prowadze-

nia badań MPM w energetyce. Zwrócono również uwagę na możliwość zastosowania metody MPM w systemach monitorowania stanu technicznego konstrukcji (SHM, ang. **Structural Health Monitoring**), w tym monitorowania postępującej degradacji materiału w fazie poprzedzającej otwarte pęknięcie.

Dobór obserwatora stanu

W energetyce większość elementów krytycznych jest wykonana z materiałów ferro-magnetycznych lub metastabilnych stali austenitycznych. Materiałów, które wykazują bardzo silną, nieliniową zależność pomiędzy składem chemicznym, mikrostrukturą i poziomem jej degradacji a właściwościami magnetycznymi materiału odwzorowanymi m.in. przez parametry pętli histerezy (rys. 1).

Wysoka czułość parametrów magnetycznych nawet na bardzo drobne zmiany mikrostruktury i stanu odkształceń/naprężeń sprawia, że pasywne i aktywne metody magnetyczne i elektromagnetyczne [3-7] są preferowane w przemyśle do:

¹⁾ Wyniki prac zostały uzyskane w ramach projektów badawczych finansowanych przez: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, przy współpracy z Politechniką Śląską, Akademią Górniczo-Hutniczą i firmami TurboCare Sp. z o.o., Tauron Wytwarzanie S.A. i Energiadiagnostyka Sp. z o.o.