

Postęp w budowie bloków energetycznych dużej mocy opalanych węglem brunatnym

Autor: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Halawa - Instytut Automatyki Systemów Energetycznych Sp. z o. o.

(„Energetyka” – grudzień 2007)

Węgiel brunatny będzie jednym z podstawowych surowców energetycznych Unii Europejskiej. Zapewni to bezpieczeństwo i pewność dostaw energii elektrycznej produkowanej z własnych zasobów.

W Polsce zasoby bilansowe udokumentowane węgla brunatnego zostały określone na 25 mld Mg, które występują głównie w sześciu zagłębiach, w tym trzech czynnych i trzech perspektywicznych [1]. Poltegor Instytut IGO Wrocław zajmuje się koordynacją programu Foresight wspieranego przez Unię Europejską, w ramach którego są prowadzone prace związane z większym wykorzystaniem istniejących zasobów oraz perspektywnym wykorzystaniem złóż nie eksploatowanych [2].

Przykładem poprawy bezpieczeństwa energetycznego Niemiec w zakresie produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego są działania koncernu *RWE Power AG*, który od lat instaluje w Nadrenii bloki energetyczne o coraz większej mocy. Niedawno koncern otrzymał zezwolenie na wydobywanie 3,8 mld Mg węgla, co ma starczyć na kilkadziesiąt lat dla tamtejszych elektrowni. Sumaryczna moc czterech elektrowni w tym rejonie wynosi ponad 10 GW (*Frimmersdorf* 2,4 GW, *Neurath* 2,2 GW, *Niederaussem* 3,86 GW, *Weisweiler* 2,3 GW). Stanowi to 15% generowanej mocy w Niemczech. Roczna produkcja energii elektrycznej z tych elektrowni wynosi 70 TWh [3]. Od 2002 roku w elektrowni *Niederaussem* pracuje blok o mocy brutto 1000 MW.

W artykule podane dane dotyczące zainstalowanych w Niemczech i w Polsce bloków energetycznych dużej mocy, które są opalane węglem brunatnym.

Blok energetyczny o mocy 600 MW

Koncern *RWE Power AG*, aby sprostać konkurencji na rynku energii elektrycznej i zmniejszać emisję CO₂, prowadził przez kilkanaście lat badania na wybudowanym w połowie lat 70. bloku o mocy 600 MW opalonym węglem brunatnym. Celem było prowadzenie w szerszym zakresie badań zmierzających do uzyskania możliwie największej sprawności. Osiągnięto to m.in. przez następujące działania:

- poprawę obiegu wodno-parowego (+1,1%);
- wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w turbinie parowej (+1,7%);
- poprawę parametrów pary (+1,3%);
- lepsze wykorzystanie ciepła gazów spalinowych (+0,9%);
- poprawę chłodzenia kondensatu (+1,4%);
- optymalizację zużycia energii elektrycznej przez urządzenia potrzeb własnych (+1,3%).

W ten sposób zwiększono sprawność bloku 600 MW o około 7%. Efekt ten uzyskano dzięki optymalizacji funkcjonowania poszczególnych instalacji bloku oraz poprzez odpowiedni dobór aparatury kontrolno-pomiarowej [4]. Na podstawie uzyskanych wyników badań

zaprojektowano kolejno bloki energetyczne o mocy 1000, a następny 1100 MW, które określono terminem BoA (Braunkohle Kraftwerk mit optimierten Anlagetechnik). W technologii BoA wybudowano i uruchomiono w 2002 roku blok o mocy 1000 MW w elektrowni *Niederaussem*. Blok ten, jak i dwa następne stawiane w elektrowni *Neurath*, każdy o mocy brutto 1100 MW mają sprawność wyższą od 43% (tab. 1). Wprowadzenie największych w świecie bloków o mocy 1000 i 1100 MW pozwoli koncernowi *RWE Power AG* na wycofanie z ruchu wyeksploatowanych bloków o mniejszych mocach i małej sprawności. Odnośnie do zmniejszania emisji CO₂ podano przykładowo, że jednostki 150 MW o sumarycznej mocy 1000 MW wydzielają do atmosfery o 30% więcej CO₂ niż jeden blok o mocy 1000 MW

RWE Power AG przewiduje, że dalszy wzrost sprawności bloków energetycznych w Niemczech nastąpi po roku 2020, gdy zostaną wprowadzone do ruchu w elektrowniach instalacje do suszenia węgla brunatnego. Będzie to technologia BoA Plus. Odnośnie do bloków energetycznych dużej mocy prowadzone są badania nad zwiększeniem temperatury pary przegrzanej do 700°C. Będzie to technologia BoA Plus 700.

Wzrost sprawności jednostek wytwórczych dużej mocy opalanych węglem brunatnym

Tabela 1

Elektrownia Inwestor	Rok uruchomienia	Moc bloku, MW	Sprawność netto, %	Technologia spalania surowego węgla brunatnego
<i>Friemendorf</i> <i>RWE Power</i>	1957	150	30,8	spalanie powietrzne
<i>Friemendorf</i> <i>RWE Power</i>	1966	300	31,4	spalanie powietrzne
<i>Neurath</i> <i>RWE Power</i>	1975	600	36,6	spalanie powietrzne
<i>Schwarze Pumpe</i> <i>VEAG</i>	1994	800 800	40 40	spalanie powietrzne
<i>Niederaussem</i> <i>RWE Power</i>	2002	1000	>43	technologia BoA, spalanie powietrzne
<i>Lippendorf</i> <i>VEAG</i>	1999	933 933	42,6 42,6	technologia BoA, spalanie powietrzne
<i>Neurath</i> <i>RWE Power</i>	2010	1100 1100	>43 >43	technologia BoA, spalanie powietrzne
<i>Bełchatów II</i> <i>Koncern BOT</i>	2010	833	>41	spalanie powietrzne
Projektuje <i>RWE Power AG</i>	2020	1100	52	BoA – Plus – 700 spalanie powietrzne suchego węgla

W Niemczech Wschodnich zainstalowano w 1994 roku dwa bloki energetyczne opalane węglem brunatnym o mocy 800 MW (tab. 1), a w roku 1999 i latach następnych dwa bloki, każdy o mocy 933 MW i sprawności 42,6%. Sprawność netto bloków 800 MW wynosi około 40%.

Postawienie tego typu bloków umożliwiło koncernowi wycofywanie mniej sprawnych jednostek wytwórczych.

Charakterystyka bloku o mocy 800 MW w elektrowni *Schwarze Pumpe*

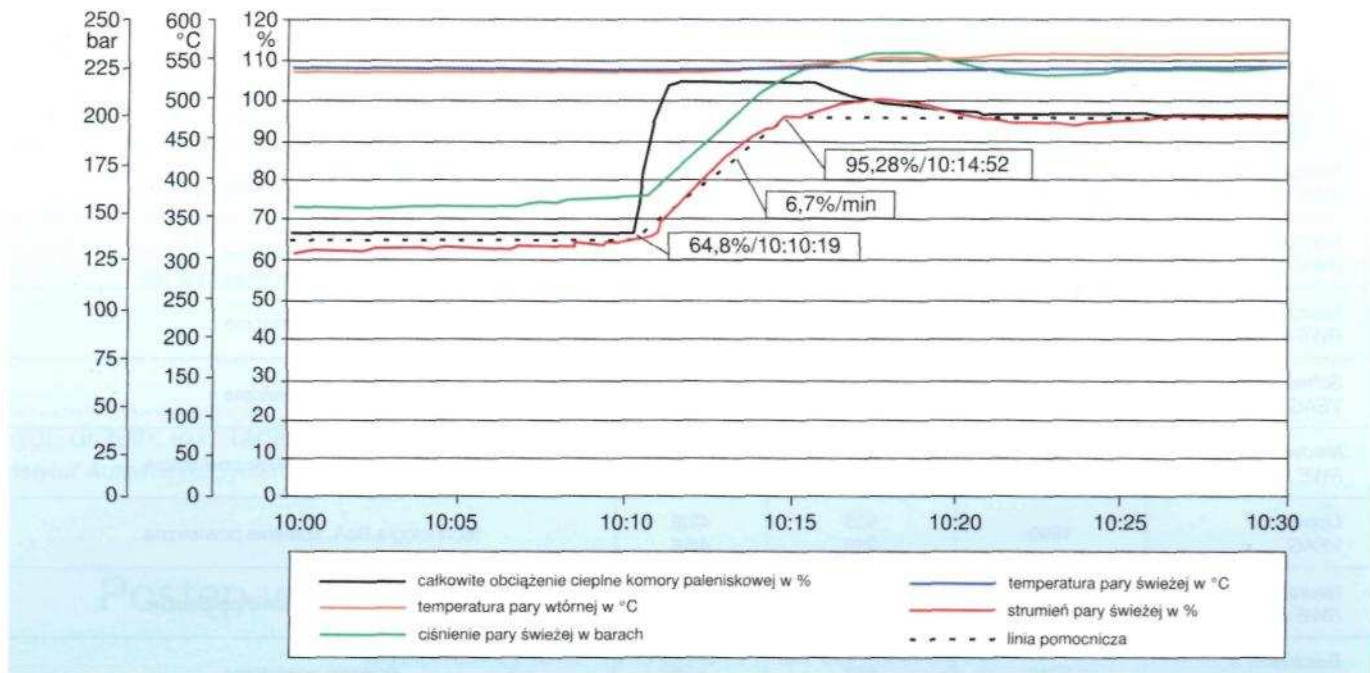
Bloki energetyczne o mocy 800 MW i większej cechuje lepsze wykorzystanie przepływu ciepła. Kotły tych bloków pracują na parametrach nadkrytycznych z wydajnością pary 2420 t/h (672 kg/s) i temperaturze pary $>580^{\circ}\text{C}$. Ciśnienie pary wynosi 300 bar, a sprawność kotła powyżej 90%. Aby uzyskać odpowiednią szczelność kotła wyposażono ściany wewnętrzne w metalowe ekrany (rury płetwowe). Zmiany obciążeń bloków w zakresie regulacyjnym 40-105% mogą być osiągnięte przez sterowanie ilością podawanego węgla brunatnego do kotła przy stałej pozycji zaworów na wlocie do turbiny. Bloki tego typu charakteryzuje duża objętość podgrzewanej wody i duże przepływy strumienia spalin. Stąd występują znaczne czasy martwe. Również instalacje dostarczające powietrze mają znaczne stałe czasowe. Ujawnia się to przy szybkich zmianach obciążenia. Rozruch bloku od rozpalenia do rozpoczęcia oddawania mocy trwa 60 minut. W stanach normalnej pracy przy zmianach obciążeń bloku w pewnych niewielkich granicach nieco zmienia się temperatura pary w obszarze wysokiego ciśnienia. Przez odpowiednią optymalizację pracy stacji obejściowej (zrzutowo-redukcyjnej), jak i przez ograniczenie strumienia wody zasilającej blok spełnia wszystkie wymagania eksploatacyjne co do zmiany obciążeń.

Obciążenie bloku można zmieniać nagle o 30% z szybkością 6% na minutę (rys. 1) [5]. Osiąga się to przez zmianę przepływu pary świeżej. Zauważalne są przy tym jedynie niewielkie zmiany temperatury pary świeżej na wyjściu z przegrzewacza. Tak szybką zmianę mocy można uzyskać przy stałej pozycji zaworów turbiny. Na zachowanie się bloku o mocy 800 MW w pracy normalnej i przy większych zmianach obciążeń mają wpływ przyjęte struktury układów automatycznej regulacji.

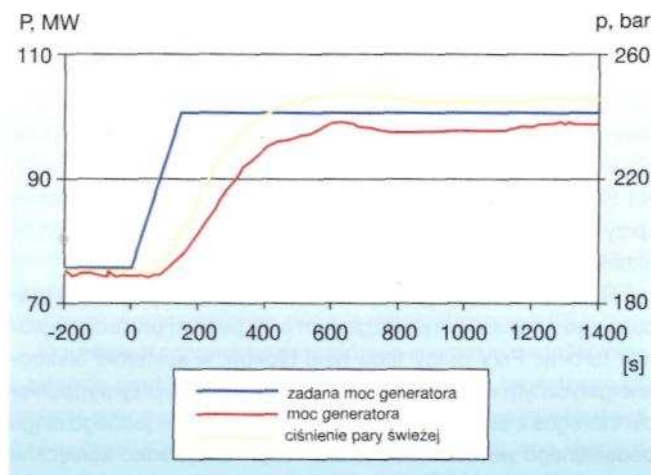
Rysunek 2 obrazuje przebieg 23% wzrostu mocy bloku pracującego z ciśnieniem poślizgowym przy pełnym otwarciu zaworów turbiny. Przy pracy tego typu bloków w systemie elektroenergetycznym ważne jest utrzymanie go w ruchu przy wypadnięciu któregoś z elementów instalacji, np. na drodze jednego ciągu podawanego powietrza do kotła. W tym przypadku konieczne jest zmniejszenie obciążenia bloku o 50%. Odnosi się to również do wyprowadzenia gazów spalinowych poprzez dysponowanie dwiema drogami.

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany mocy bloku energetycznego 800 MW w przypadku nagłej zmiany częstotliwości o 0,1 Hz.

Rysunek 4 obrazuje przypadek związany z opanowaniem wypadnięcia z ruchu wentylatora spalin. Można zauważyć przy tym zmiany parametrów związanych z redukcją wydajności kotła z poziomu 100% do 50%, nastąpiła w czasie 1 minuty. Inny przypadek dotyczy wypadnięcia z ruchu turbopompy zasilającej kocioł w wodę (rys. 5). Widać na nim szybką reakcję komory spalania. Występuje tu równocześnie zmiana ciśnienia pary, a także szybki wzrost obciążenia rezerwowych pomp wody zasilającej i chwilowy wzrost temperatury na wylocie z przegrzewacza. Prace bloku energetycznego w reżimie modyfikowanego ciśnienia poślizgowego można realizować przez zmiany położenia zaworów turbiny lub zmianę położenia zaworów upustowych turbiny.

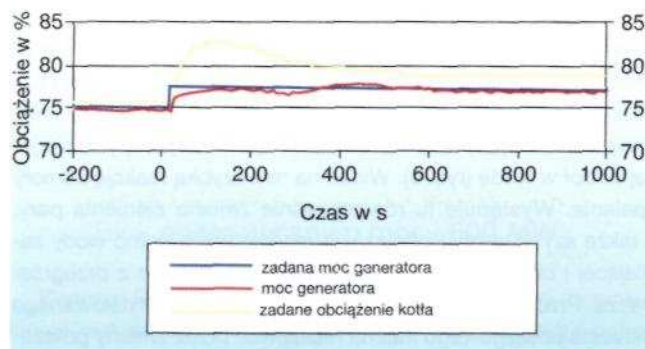


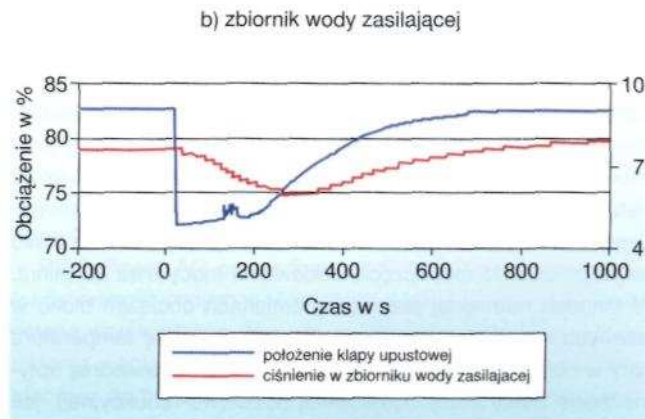
Rys. 1. Nagły 30-procentowy wzrost mocy bloku z szybkością 6% min. opalanego węglem brunatnym



Rys. 2. Nagły 23-procentowy wzrost mocy bloku o mocy 800 MW przy pracy w reżimie poślizgowym (Gleitdruckbetrieb)

a) obciążenie





Rys. 3. Przebieg zmiany mocy bloku energetycznego 800 MW pod wpływem nagłej zmiany częstotliwości (0,1 Hz)

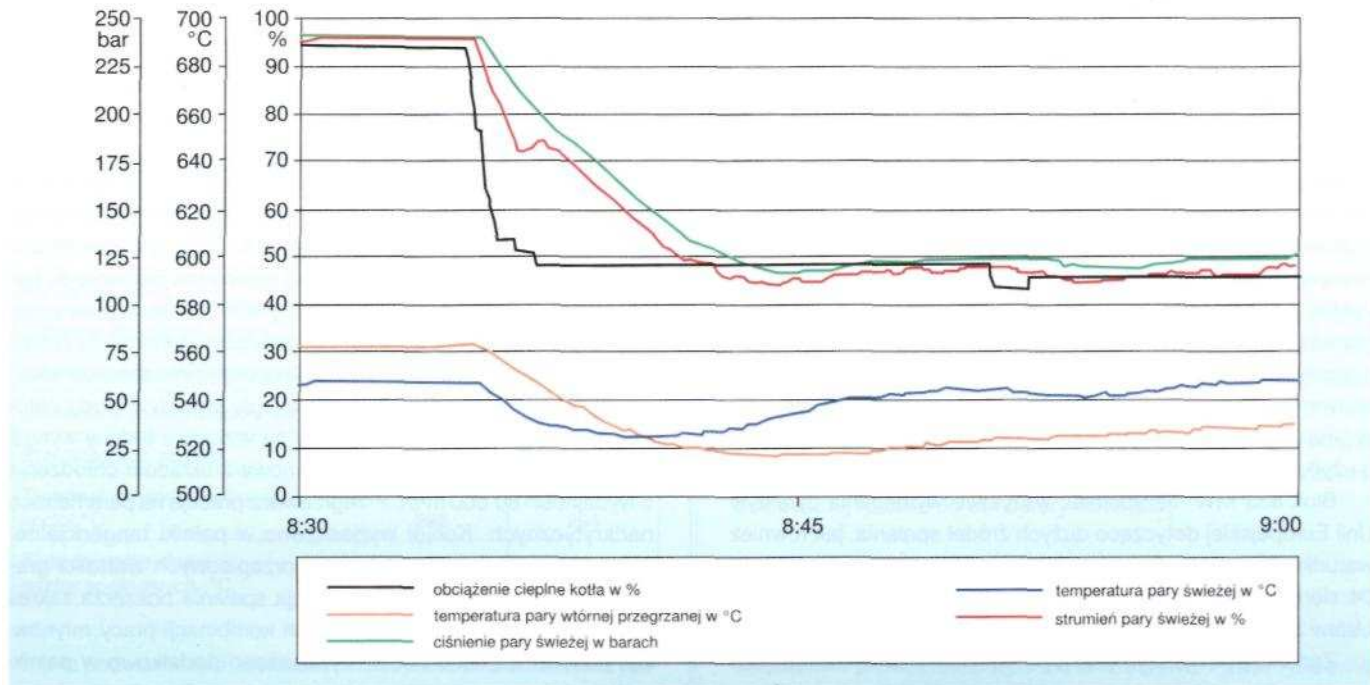
Przedstawione wyniki wskazują na to, że bloki wytwarzające duże ilości pary mogą być elastyczne i szybko reagować na zmiany zapotrzebowania. Bloki te mogą pracować przy pełnym obciążeniu, gdy młyny są w sytuacji N-1, lub N-2. Przy niższych obciążeniach można wyłączyć kilka młynów [5]. Regulacja pierwotna częstotliwości wg zależności $\Delta P = k\Delta f$ ma do dyspozycji +5% mocy bloku energetycznego. Badane bloki o mocy 800 MW wykazały dobrą regulacyjność w reżimie naturalnej regulacji ciśnienia, jak i modyfikowanego ciśnienia poślizgowego, gdzie zawory turbiny w minimalnym stopniu dławią parę. Tak dużą elastyczność pracy osiągnięto dzięki wprowadzeniu wysokiego poziomu automatyzacji. Wydaje się, że zgodnie z krajowymi wymaganiami podanymi w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej - Regulamin Regulacyjnych Usług Systemowych bloki tego typu mogą spełniać wymagania dotyczące uczestnictwa w automatycznej regulacji mocy czynnej [6]. Zatem bloki tego typu mogą uczestniczyć w regulacji pierwotnej częstotliwości i w regulacji wtórnej ARCM jako jednostki centralnie dysponowane.

Blok o mocy 833 MW w elektrowni *Bełchatów*

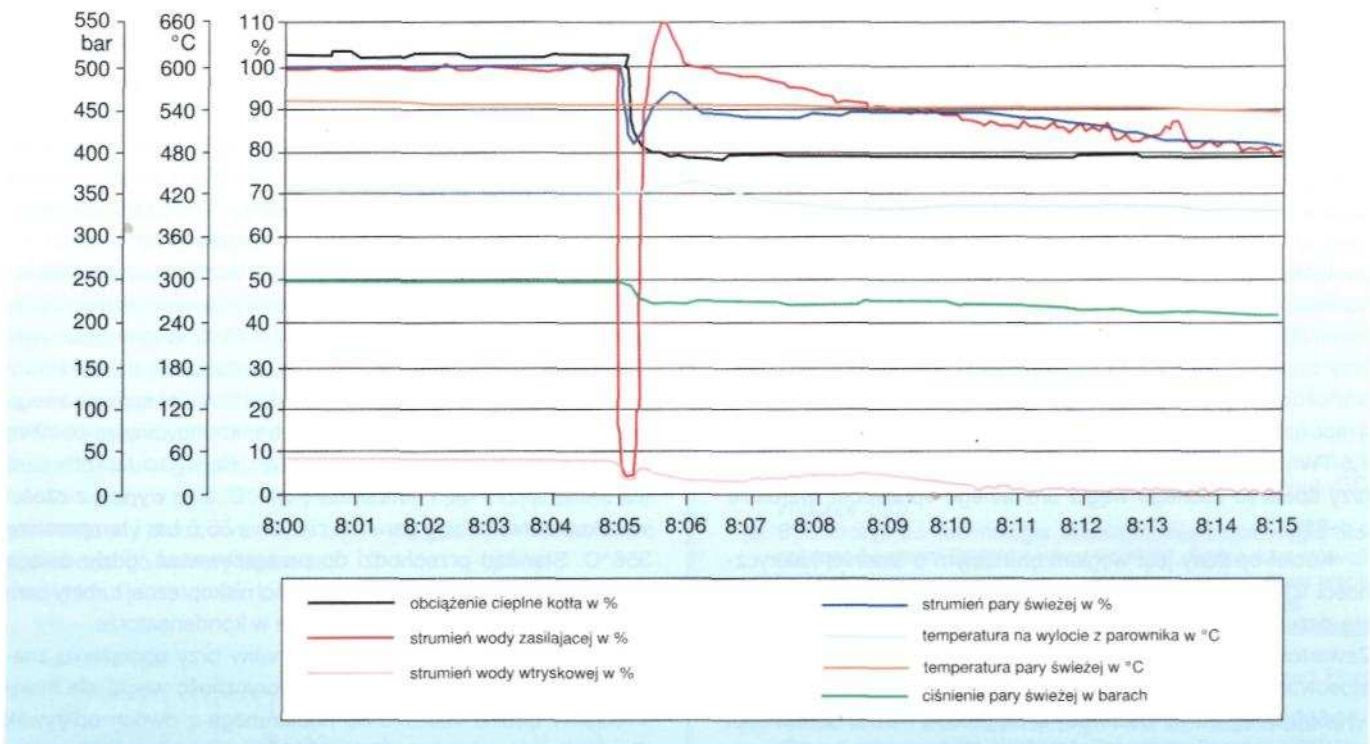
Blok o mocy 833 MW z powietrznym spalaniem węgla brunatnego jest budowany w elektrowni *Bełchatów* przez firmę *Alstom* [7]. Sprawność gwarantowana ma wynosić netto >41,7%. Blok ten może spełniać wymagania Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Zakres zmienności obciążeń bloku wyniesie 40-100% i będzie następować z wymaganą szybkością zmian mocy. Moc bloku będzie wyprowadzana przez dwa równoległe pracujące transformatory zlokalizowane w rozdzielni blokowej 400 kV. Kocioł przepływowy typu wieżowego na parametry nadkrytyczne pary z przegrzewem międzystopniowym będzie wyposażony w dwa ciągi powietrza, dwa ciągi spalin oraz dwa obrotowe podgrzewacze powietrza i dwa wentylatory poddmuchu.

W instalacji tej ma być wbudowany układ odzysku ciepła (80 MW) służący do podgrzewu kondensatu. System diagnostyczny kotła ma wizualizować warunki jego pracy i automatycznie włączać w czasie ruchu układy do oczyszczania ścian paleniska i powierzchni ogrzewalnych. Chłodnia kominowa może schładzać wodę maksymalnie 80 200 m³/h wody chłodzącej. Wartość przepływu wody chłodzącej przez skraplacz turbozespołu wynosi 70 200 m³/h. Instalacja odsiarczania spalin znajduje się za elektrofiltrem. Obejmuje ona układ rozładowania i magazynowania mączki kamienia wapiennego, układ przygotowania sorbentu i układ odwadniania gipsu. Przewidziano hydrauliczny transport popiołu i żużla. Średnie

zużycie wody surowej wyniesie 1471 m³/h, a wody zdemineralizowanej 504 m³/dobę. Zużycie wody do usuwania popiołu wyniesie 800 m³/h. Zbiornik wody uzupełniającej ma powierzchnię dna 7,4 ha, objętość całkowitą 310 000 m³, a użytkową 240 000 m³. Nie jest to zbiornik naturalny.



Rys. 4. Zmiana mocy bloku przy awarii w jednym ciągu wyprowadzenia spalin



Rys. 5. Wpływ nagłego wyłączenia turbopompy wody zasilającej (blok 800 MW) [5]

Blok 833 MW ma spełniać wszystkie wymagania dyrektyw Unii Europejskiej dotyczące dużych źródeł spalania, jak również warunki określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 04 sierpnia 2003 w sprawie standardów emisyjnych {*Dziennik Ustaw* 2003, Nr 169, poz. 1584} [7].

Zgodnie z powyższym, dla tego typu obiektów są następujące wymagania:

- $\text{NO}_x < 200 \text{ mg/m}^3$;
- $\text{SO}_2 < 200 \text{ mg/m}^3$ z jednoczesnym uzyskaniem stopnia odsiarczenia 96%;
- pył $< 30 \text{ mg/m}^3$;
- $\text{CO} < 200 \text{ mg/m}^3$.

Blok o mocy 1000 MW w elektrowni *Niederassem*

Blok o mocy 1000 MW typu BoA w elektrowni *Niederassem* opalany węglem brunatnym zainstalował koncern *RWE Fthein-braun AG Koln*. Posiada on sprawność netto większą od 43%, przy czym charakteryzuje się zmniejszoną emisją spalin z zawartością CO_2 , SO_2 i NO_x . Moc brutto bloku wynosi 1012 MW, a moc netto 965 MW. Produkcja roczna energii elektrycznej osiąga 7,5 TWh. Czas pracy w roku 7760 godzin [8]. Przewiduje się, że przy spalaniu suchego węgla brunatnego sprawność wzrośnie o 4-6%.

Kocioł opalany jest węglem brunatnym o średniej kaloryczności 9150 kJ/kg. Tę wartość średniej kaloryczności uzyskuje się przez mieszanie węgla z dwóch kopalń w stosunku 1:1. Zawartość popiołu określono na poziomie 4%. Kocioł jest przystosowany do spalania węgla o kaloryczności w granicach 7900--10 500 kJ/kg, zawartości wody w węglu od 51-58% i zawartości popiołu w przedziale 2-12%. Wydajność kotła przy obciążeniu znamionowym wynosi 2660 t/h. Temperatura pary świeżej/przegrzanej 580/600°C.

Blok ten jest wyposażony w 8 młynów bijakowych typu N-340, każdy o wydajności 145 t/h [8]. Na wlocie do młynów zainstalowano dwa rzędy wstępnych kruszarek. Istnieje możliwość dobudowania trzeciego rzędu do dodatkowego kruszenia. Przy znamionowym obciążeniu bloku pracuje sześć młynów. Przemielony węgiel przechodzi przez sita o oczkach, 1 mm przy czym na nich zatrzymuje się jedynie 5% zmielonego węgla, który zawracany jest do powtórnego przemiału.

Ze względu na potrzebę zwiększenia niezawodności pracy bloku, poza turbopompą tłoczącą wodę do kotła, pracującą w zakresie obciążeń podstawowych zastosowano dodatkowo niezależnie dwie pompy o wydajności 40% każda. Służą one do rozruchu oraz jako rezerwa awaryjna przy nagłym wyłączeniu z ruchu turbopompy. Zastosowano 10-stopniowy podgrzew regeneracyjny wody zasilającej kocioł, przez co osiągnięto jej temperaturę 295°C. Wydajność kotła wynosi 2620 t/h, temperatura pary świeżej 580°C, przy ciśnieniu 275 bar. Przeprowadzona para świeża w części wysokoprężnej turbiny ma ciśnienie 60 bar i zostaje przeegrzana do temperatury 600°C. Następnie przechodzi ona do części średnio- i niskoprężnej turbiny. Za nisko-prężnymi korpusami turbiny para jest doprowadzona do skraplaczy, przez które następuje równoległy przepływ wody chłodzącej. Ciśnienie znamionowe pary na wylocie z turbiny wynosi 43 mb. Zapewnia to chłodnia kominowa z układem chłodzenia o wydajności 80 000 m³/h. Przegrzewacz pracuje na parametrach nadkrytycznych. Kocioł wyposażono w palniki tangencjalne. Zwiększa to pewność utrzymania przepisowych wartości granicznych emisji NO_x . Taka koncepcja spalania poszerza zakres zmian obciążeń dla poszczególnych kombinacji pracy młynów. Dla potrzeb rozruchu kocioł wyposażono dodatkowo w palniki spalające suchy węgiel brunatny, przy użyciu których można osiągnąć

35% mocy kotła. Mogą one również pracować przy ruchu ciągłym bloku [9].

Bloki o mocy 1100 MW typu BoA2/3 budowane w elektrowni Neurath

Następnymi po bloku 1000 MW są dwa bliźniacze bloki typu BoA 2/3 o mocy 1100 MW każdy, przewidziane do postawienia w elektrowni *Neurath*. Koszt ich budowy wyniesie 2,2 mld euro. Uruchomienie pierwszego z nich ma nastąpić w 2010 roku.

Każdy blok z kotłem o wymuszonym obiegu z rurami ekranowymi pionowymi w ścianach metalowych ma w pobliżu wybudowaną chłodnię kominową o wysokości 175 m. Węgiel z odkrywki *Garzweiler* i drugiej *Humbach* będzie dostarczany do elektrowni własną linią kolejową i rozładowany do zbiornika szczelinowego przy każdym bloku. Stamtąd będzie transportowany za pomocą taśmociągów zaopatrując blok w paliwo. Na wyjściu z kotła para ma ciśnienie 272 bar i temperaturę 600°C, a na wyjściu z części wysokoprężnej turbiny para ma ciśnienie 55,5 bar i temperaturę 356°C. Stamtąd przechodzi do przegrzewacza, gdzie osiąga temperaturę 605°C. Na wyjściu z części niskoprężnej turbiny para ma ciśnienie 48 mbar i jest skraplana w kondensatorze.

Zapotrzebowanie na węgiel brunatny przy obciążeniu znamionowym ma wynosić 820 t/h. Kaloryczność węgla dla bloku 1100 MW będzie zbliżona do pobieranego z dwóch odkrywek *Garzweiler* i *Humbach* dla bloku 1000 MW w elektrowni *Niederassel*. Kaloryczność z tych dwóch kopalń zmienia się w granicach od 7900 do 10 500 kJ/kg i dlatego jest węgiel mieszany dając średnią wartość 9150 kJ/kg. Zawartość wody wynosi 51-58%, a popiołu od 2 do 12% (średnio z dotychczasowych eksploatacji złoża węgla brunatnego zawartość popiołu wynosi 4%).

Pomiary zanieczyszczeń powietrza wokół elektrowni z blokiem 1000 MW przeprowadzono w okresie od grudnia 2002 r. do czerwca 2003 r. gdzie rejestrowano bieżący poziom zanieczyszczeń wywołanych obecnością SO₂, NO_x, pyłu i w nim zawartych metali ciężkich.

Tabela 2
Parametry techniczne bloku BoA 1100 MW [11]

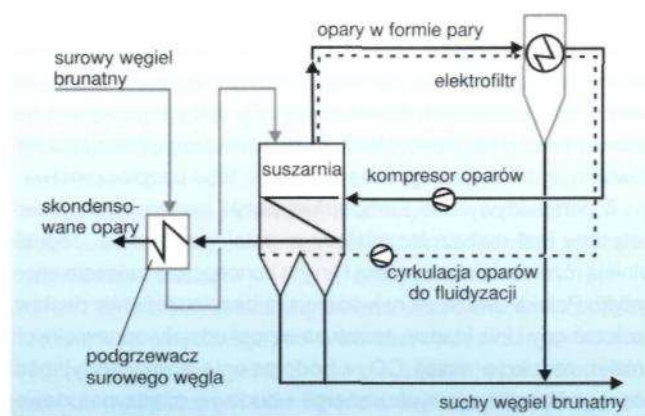
Parametr	Obciążenie znamionowe	Obciążenie maksymalne
Moc kotła, MW	2392	2800
Zużycie węgla brunatnego, t/h	820	1326
Moc bloku, MW	1100	1122
Sprawność netto, %	>43	>43
Wydajność kotła, t/h	2870	2960
Ciśnienie pary/temp., bar/°C	272/600	280/600
Ciśnienie pary wtórnej/temp., bar/°C	55,5/605	56,7/605
Ciśnienie w kondensatorze, mbar	48	48
Przegrzewacz, stopnie	9	9
Temperatura wody zasilającej kocioł, °C	292	294
Wykorzystanie ciepła gazów spalinowych, °C	350/160/125	350/160/125

Na podstawie tych wyników oszacowano poziom zanieczyszczeń wywołanych pracą dwóch bloków o mocy sumarycznej 2200 MW przewidzianych do instalowania w elektrowni *Neurath*. Stwierdzono, że zanieczyszczenie powietrza cząstkami stałymi szkodzącymi zdrowiu jest wykluczone, co zostało potwierdzone pomiarami zarówno w wodzie chłodzącej jak i na podstawie badań chemicznych powietrza. Dotyczy to również występowania substancji zapachowych.

Instalacje do suszenia węgla brunatnego

Według oceny *RWE Power AG* spalanie suchego rozdrobnionego węgla brunatnego zwiększy sprawność bloków energetycznych 1000 i 1100 MW o 4-6%. W ostatnich latach były kontynuowane prace związane z badaniem doświadczalnej instalacji do suszenia węgla brunatnego metodą ciągłą za pomocą instalacji WTA (*Wirbelschicht Trocknung Anlage*). Uproszczony schemat funkcjonowania procesu suszenia podano na rysunku 6.

Pobierany z bunkra węgiel brunatny za pomocą przenośnika jest kruszony przez dwa młyny bijakowe, gdzie po rozdrobnieniu przechodzi do komory suszenia.



Rys. 6. Uproszczony schemat funkcjonowania procesu suszenia węgla brunatnego

Odparowanie wody następuje w 110°C pod niewielkim nadciśnieniem za pomocą zanurzonej w wirującej warstwie węgla rurowego wymiennika ciepła. Czas przebywania węgla w komorze wynosi od 60 do 90 minut. Wychodzące opary porywają suszony pył węglowy, który jest zatrzymywany przez filtr. Pył ten jest podawany do kotła. Sprężarka wтяacza opary z powrotem do komory suszenia. Ustawione dysze w suszarce nadają ruch wirowy suszonej warstwie węgla brunatnego [10].

Obecnie instalacja WTA o przepustowości 210 t/h surowego węgla brunatnego pracuje przy bloku 1000 MW w elektrowni *Niederaussem*. Na wyjściu z instalacji WTA uzyskuje się 110 t/h suchego węgla. Zakończenie próbnego okresu pracy przewidziano na koniec 2009 roku. Koncern *RWE AG* przewiduje wejście do produkcji przemysłowej tych instalacji po roku 2014. Po wyposażeniu dwóch bloków 1100 MW w instalację WTA wzrośnie sprawność, każdego o 4%. Instalacja ta wpływa na wielkość emitowanej rocznie do atmosfery ilości CO₂.

Podsumowanie

1. Obecnie prowadzone są w UE prace (*RWE Power AG*) związane z wdrażaniem technologii BoA Plus 700 w elektrowniach z blokami o mocy powyżej 800 MW. Dotyczą one spalania powietrznego suchego węgla brunatnego i osiągnięcia temperatury pary przegrzanej o wartości 700°C. Umożliwi to osiągnięcie sprawności bloku energetycznego w granicach 50-52%.
2. Wdrażane technologie spalania powietrznego węgla brunatnego nie ograniczą w sposób istotny emisji CO₂. Unia Europejska planuje w bliskiej perspektywie 20% zmniejszenia emisji CO₂, a w przyszłości jeszcze większe jej ograniczenie. Stąd po roku 2020 zajdzie potrzeba budowy elektrowni z blokami energetycznymi w technologii spalania węgla brunatnego w tlenie (O₂/CO₂). Umożliwi to separację i składowanie CO₂ pod ziemią w odpowiednich złożach [9].

LITERATURA

- [1] Bednarczyk J.: Perspektywiczne strategie technologii wykorzystania energetycznego węgla brunatnego w warunkach dużego ograniczenia emisji dwutlenku węgla. Poltegor-Institut IGO, Wrocław 2007
- [2] Bednarczyk J.: Technologia udostępniania złoża węgla brunatnego Legnica. Projekt celowy Foresight „Scenariusz rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego. Poltegor-Institut, eg. Nr 16, Wrocław 2006
- [3] Hurting M.: Tania energia z węgla brunatnego - podstawa bezpieczeństwa. *Gigawat Energia* 2006, nr 4
- [4] *RWE Power*. Lignite-Fired Power Plant with Optimized Plant Technology (BoA).www.RWE.com
- [5] Kirmse S. i in. Betriebserfahrungen mit den beiden 800 MW--Dampf-erzeugern im Kraftwerk Schwarze Pumpe. *VGB KraftwerksTechnik* 2000, nr 6
- [6] Operator Sieci Przesyłowej. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. *PSE SA* 2004
- [7] Szmaja P: Rozwiązania techniczne wyróżniające blok 833 MW na tle energetyki krajowej. Konferencja Naukowo-Techniczna SEP „Współczesna energetyka”, Bełchatów 21-22.09.2006
- [8] Wessel B.: Betriebserfahrungen mit dem Block Niederaussem K. *VGB Power Tech.* 2006, nr 11
- [9] Halawa T. i in.: Bloki energetyczne dużej mocy opalane węglem brunatnym. Oprac. IASE nr 920/2007
- [10] Schwendig F, Klutz H., Ewers J.: Das Trockenbraunkohlebefeuerte Kraftwerk. *VGB Power Tech.*, 2006, nr 12