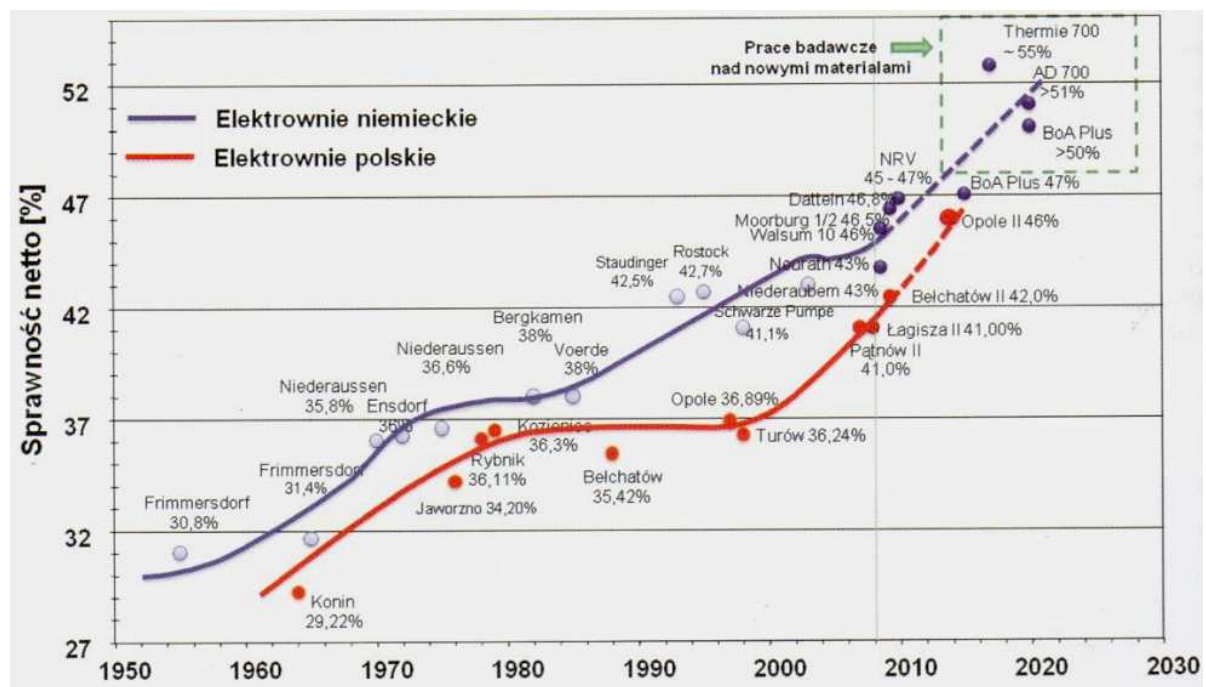


Bloki na horyzoncie. Zmagania z progiem 50 % sprawności obiegu parowego Rankine'a

Autor: Jacek Malko, Henryk Wojciechowski - Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

(„Energetyka Ciepła i Zawodowa” – nr 7-8/2012)

Opublikowane w listopadowym 2011 roku numerze miesięcznika „Energetyka ciepła i zawodowa” niezmiernie pouczające studium wymagań technicznych dla nowych jednostek wytwórczych w energetyce krajowej jest w istocie próbą oceny tendencji rozwoju, skupionych na „maksymalnie sprawnych i ekologicznych jednostkach wytwórczych” [1], realizujących cykl parowy o parametrach nadkrytycznych i opalanych pyłem węgla kamiennego. Porównanie historyczne z energetyką niemiecką wykazuje, iż na progu pierwszej dekady 21. wieku podjęto działania, zmniejszające dzielącą obydwaj kraje lukę technologiczną „ale obszar (objęty pracami R&D) w drugiej i trzeciej dekadzie wytycza jeszcze ambitniejsze wyzwania w zakresie podnoszenia sprawności. Zjawisko to dobrze ilustruje rys.1, zacytowany jako źródłowe opracowanie własne w [1]. Wartościowym uzupełnieniem rozważań o bliskich perspektywach postępu technicznego w energetyce krajowej może być artykuł o przełamywaniu kolejnych barier sprawnościowych w skali globalnej [2], zamieszczony w kwietniowym (2012 roku) numerze periodyku koncernu medialnego PennWell „Power Engineering International”.



Rys.1. Porównanie sprawności elektrowni polskich na tle elektrowni niemieckich [1]

Wartość 50 % sprawności jest symbolicznym kamieniem milowym dla bloków, bazujących na obiegu Rankine'a i stanowiących dziś i w najbliższej perspektywie czasowej podstawowe wyposażenie elektroenergetyki zawodowej w skali globalnej. Większość tych bloków wykorzystuje węgiel, a ich udział w „technology mix”, wynoszący ok. 40 % światowego, wytwarzania decyduje o tym, iż węgiel jeszcze przez lata dominować będzie w strukturze paliw dla energetyki [3].

Sprawność elektrowni węglowych decydująco wpływa (i wpływać będzie w przewidywanej przyszłości) tak na ekonomikę wytwarzania energii elektrycznej jak i na emisję do środowiska. Bliskim celem, jaki wyznacza sobie przemysł energetyczny na całym świecie, jest przesunięcie granicy sprawności istniejących dla warunków referencyjnych z bieżącej wartości 46 % poza 50 %, ale osiągnięcie tej granicy będzie wymagać znaczących zmian technologicznych : stosowane dziś materiały nie są wystarczające dla zakładanych parametrów obiegu parowego i wymagają kolejnego postępu inżynierii materiałowej. Udoskonalenia obiegu parowo-wodnego bloku energetycznego, wraz z polepszeniem wewnętrznej sprawności turbiny parowej i kotła, mogą istotnie przyczynić się do dalszego wzrostu efektywności energetycznej.

Najbardziej obiecującą drogą do poprawy sprawności współczesnych bloków opalanych węglem jest podnoszenie wartości parametrów termodynamicznych obiegu parowo-wodnego. Dla każdego wzrostu temperatury pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej o 20° C odnotowuje się wzrost sprawności(względnej) o 1 punkt procentowy, zaś dla każdego wzrostu ciśnienia pary świeżej o 1 MPa – wzrost sprawności o 0,2 % [2] . Nowoczesne elektrownie, budowane dla uzyskania wysokiej sprawności, stosują nadkrytyczne parametry pary : ciśnienie do 25 MPa i temperatura pary świeżej /przegrzanej - 565/565 °C. Określenie „nadkrytyczne parametry” oddaje fakt, że nie jest możliwe odróżnienie dla wody fazy ciekłej od gazowej. Parametry pary świeżej w obiegu parowym, wynoszące powyżej 25 MPa dla ciśnienia i (565 – 600) °C dla temperatury oraz 620 °C dla temperatury pary przegrzanej określane są mianem „ultranadkrytyczne” (USC), a ich osiągnięcie możliwe było dzięki postępowi w zakresie nowych materiałów ferrytycznych.

Wzrost sprawności obiegu parowo-wodnego Rankine'a można uzyskać przez :

- obniżenie ciśnienia pary i wody w kondensatorze,
- podwyższenie temperatury wody zasilającej kocioł,
- wzrost liczby stopni podgrzewu wody zasilającej oraz
- właściwe wykorzystanie przegrzewów pary : pierwotnego i wtórnego.

Sprawność wewnętrzna turbiny parowej w stopniu większym niż sprawność innych elementów wpływa na ogólną sprawność bloku, a kluczowymi czynnikami są :

- zaawansowane trójwymiarowe projektowanie łopatek dla minimalizacji przekroju i strat wtórnych,

- zaawansowana technologia wykonawstwa oraz
- zastosowanie wielkogabarytowych łopatek ostatniego stopnia dla ograniczenia strat wylotowych.

Z kolei sprawność kotła może być zwiększona przez obniżenie temperatury spalin, ograniczenie nadmiernego spalania, minimalizację strat ciśnienia i temperatury oraz zastosowanie suszenia węgla.

Dalszy wzrost sprawności netto bloku energetycznego uzyskać można przez ograniczenie zużycia energii elektrycznej na potrzeby własne. W pierwszej kolejności należy zastosować napędy o regulowanej prędkości obrotowej dla pomp i wentylatorów.

Mimo tego potencjału wzrostu sprawności cel „50 %” wydaje się dziś trudniejszy do uzyskania niż to przewidywano jeszcze dziesięć lat temu. Nie należy oczekiwać, by cel ten dla elektrowni komercyjnych mógł być osiągnięty przed rokiem 2020.

„STATE OF THE ART”

Oceny średniej wartości sprawności elektrowni opalanych węglem, eksploatowanych współcześnie, zawarte są w pewnym przedziale, ale np. dane, przedstawione dla jednostek wytwórczych grupy VGB sugerują, że w skali globalnej średnia sprawność wynosi około 30 %. Inne oceny przedstawiają wartości o kilka procent wyższe. W niektórych regionach uzyskuje się wyniki lepsze, a zgodnie z Niemieckim Stowarzyszeniem Operatorów Elektrowni (VGB) [4] średnia sprawność elektrowni w krajach Unii Europejskiej zbliża się do 38 %. Tymczasem średnia sprawność dla elektrowni w USA wynosi tylko 33 %, a dla sektora wytwórczego w Chinach w roku 2010 średnia sprawność elektrowni była bliska 37 %. Dane te oddają rzeczywisty stan technologii węglowych na dzień dzisiejszy.

We współczesnych elektrowniach węglowych zastosowanie parametrów nadkrytycznych upraszcza konstrukcję kotła, ale stawia większe wymagania materiałowe. Istotnym czynnikiem jest możliwość zwiększenia sprawności, ponieważ turbina parowa w obiegu Rankine’a jest silnikiem cieplnym, w którym wraz ze wzrostem sprawności zwiększa się gradient temperatury jej funkcjonowania. Jednak obecnie, szczególnie w krajach rozwijających się, istnieje nadal znaczna liczba elektrowni na parametry podkrytyczne i są nadal budowane. Najlepsze i najnowocześniejsze bloki mogą osiągnąć sprawności rzędu (38 – 42) %. Pierwsza generacja bloków na parametry nadkrytyczne ma sprawność rzędu (42 – 44) %, a np. amerykańska generacja bloków na parametry ultranadkrytyczne osiąga sprawność (44 – 46) %.

W rozważaniach na temat sprawności elektrowni konieczna jest pewna ostrożność, gdyż rzeczywista sprawność danej jednostki zależy od lokalizacji w systemie i warunków eksploatacji. Podstawowym uwarunkowaniem jest możliwość chłodzenia i wynikająca stąd osiągalna próżnia w kondensatorze turbiny parowej. W USA w lokalizacjach śródlądowych

ciśnienie pary w kondensatorze dla najlepszych turbin parowych może wynosić (7 – 9) kPa, podczas gdy w warunkach europejskich – szczególnie przy wykorzystaniu wody morskiej jako chłodziwa – ciśnienie pary w kondensatorze może osiągnąć wartość 3 kPa. Stąd elektrownie europejskie są o ok. 2 % bardziej sprawne niż równoważne amerykańskie. Jakość węgla i przelotowa konstrukcja kotła, powszechna w Europie, może powodować zmniejszenie zużycia energii na potrzeby własne. Warto również zwrócić uwagę na przyjętą w definiowaniu sprawności bloku energetycznego wartość opałową węgla – czy jest to wartość górna (HHV) czy też dolna (LHV). Kumulacja wymienionych czynników warunkujących osiągalne sprawności może prowadzić do różnic nawet 4 punktów procentowych dla wirtualnie identycznych bloków, jak to wynika z analiz EPRI [5].

Tak więc typowy blok na parametry podkrytyczne w USA może cechować się sprawnością 37 %, podczas gdy współczesny blok na parametry nadkrytyczne może wykazywać sprawność 42 %. Dla warunków europejskich analogiczne sprawności wynosić mogą odpowiednio 41 % i 46 %.

UDOSKONALENIA KROK PO KROKU

Stan rzeczy na chwilę obecną jest określony przez blok o parametrach nadkrytycznych pary (USC) o maksymalnej sprawności 46 %, odniesionej do warunków europejskich. Jednostka tego typu będzie eksploatowana przy maksymalnym ciśnieniu pary (25 – 26) MPa i temperaturze pary świeżej 600 °C i przegrzanej 620 °C. Warunki takie są możliwe do osiągnięcia dzięki stopniowemu postępowi w inżynierii materiałowej, osiągniętej dla kotła i turbiny parowej w ostatnich dekadach. Oczekuje się jednak spowolnienia tego postępu, aczkolwiek pouczający jest przypadek duńskiej elektrowni Avedore 2 (30 MPa/580 °C/600 °C), która w warunkach eksploatacji od 2001 roku wykazuje się sprawnością netto 48 %. Opinia firmy Siemens mówi o możliwości osiągnięcia temperatury do 620 °C (lub nieznacznie wyżej są) przy wykorzystaniu już dostępnych materiałów, ale są to raczej możliwości nieprzekraczalne. Specjaliści z dziedziny wielkich turbin parowych firmy GE potwierdzają tę opinię. Możliwe jest wykorzystanie strategii małych kroków z wykorzystaniem materiałów o jeszcze wyższych parametrach aby przesunąć obecne granice ciśnienia i temperatury pary świeżej.

Dziś niezbędne staje się pełne przejście od tradycyjnych stopów stali do nowych materiałów na bazie niklu, takich jak Inconel 740, ostatnio zaaprobowany przez certyfikację ASME do stosowania w nowych kotłach parowych. Materiały wysokotemperaturowe nie są w istocie nowością : turbiny gazowe pracują w temperaturach znacznie wyższych niż przewidywano dla nowych rozwiązań parowych, tak że istnieje już bogaty materiał porównawczy. Ale nawet tak korzystna sytuacja nie chroni przed problemami aplikacyjnymi. Pierwszym problemem jest koszt materiałów na bazie niklu, wyższy niż stopy chromowe stali, wykorzystywane dziś w elektroenergetyce. Po drugie znacznie większe są wymagania miejsca dla instalowania turbiny parowej w porównaniu z turbiną gazową, co wynika z wartości wykorzystywanych ciśnień. Zakłada się, że turbiny parowe winny pracować w

pełnym zakresie życia tego obiektu (ok. 200 000 godzin), podczas gdy pracujące w wysokich temperaturach zespoły turbiny gazowej podlegają wymianie co 25 000 godzin. Tak więc, o ile doświadczenie z turbinami gazowymi mogą być wartościowe dla rozwoju turbin parowych, to transfer technologii nie musi być bezpośredni. Dotyczy to również podzespołów i elementów: wszystkie one muszą być kontrolowane przy wykorzystaniu materiałów o najwyższych osiągnięciach i wymagają testowania przed wbudowaniem w elektrowni.

NOWE PARAMETRY TERMODYNAMICZNE PARY WODNEJ

Koszt opracowania i zbudowania nowoczesnej elektrowni, pracującej przy bardziej ekstremalnych parametrach pary wodnej, musi prowadzić do stworzenia programów rozwojowych o niespotykanym zakresie kooperacji w skali europejskiej i globalnej. Podstawowe zespoły elektrowni parowej są zbyt kosztowne, by ryzykować indywidualne opracowywanie nowych technologii i niezbędna jest współpraca partnerska krajów europejskich, USA, Japonii, Chin i Indii, a zaangażowanie funduszy państwowych jest pomocne w doprowadzeniu nowych technologii do fazy projektu demonstracyjnego.

Co więcej – dodatkowe koszty stopów na bazie niklu zmuszają do stosowania w technologii elektrowni parowych następnej fazy rozwojowej, co oznacza, że koncepcja małych kroków może okazać się ekonomicznie nieuzasadniona. Aby nowe inwestycje były opłacalne, przyrost sprawności elektrowni musi być znaczący. Mając to na uwadze celem postępu w Europie winno być osiągnięcie temperatury pary wynoszące 700 °C. Konieczne jest również zwiększenie ciśnienia, zapewne do wartości 35 MPa lub nawet wyżej. Dla osiągnięcia sprawności ogólnej 50 % niezbędne jest podniesienie temperatury pary o 80 °C oraz ciśnienia o 6 MPa (lub więcej), przynajmniej dla europejskich standardów referencyjnych. W USA rozważa się również osiągnięcie temperatury pary świeżej 700 °C, ale jednocześnie wyznacza się cel bardziej ambitny. Departament Energii (US DOE) finansuje program, zmierzający do zbudowania bloku energetycznego o zaawansowanych parametrach termodynamicznych pary super ultra nadkrytycznych (AUSC), pracującego przy parametrach pary: ciśnienie 34,5 MPa, temperatura 760 °C. Dla osiągnięcia 50 % proggu sprawności wymagany jest przyrost temperatury o 140 °C względem aktualnych wartości parametrów termodynamicznych pary w układach ultra nadkrytycznych (USC) w warunkach referencyjnych dla USA i przy wyższej wartości opałowej (HHV) węgla.

OGRANICZENIE EMISJI ZE SPALANIA WĘGLA

Dla zaawansowanych bloków parowych sprawność jest parametrem podstawowym, ale istotna jest również emisyjność zanieczyszczeń tych obiektów do środowiska. Zakładając, że średnia sprawność bloków w skali globalnej wynosi ok. 30 %, analiza VGB [4] wskazuje, iż światowa emisja CO₂ z elektrowni węglowych wynosi średnio 1115 gramów CO₂ na kWh wyprodukowanej energii elektrycznej. Dla nowoczesnych bloków na parametry termodynamiczne pary ultra nadkrytycznej (USC) wartość ta zmniejsza się do 727 g

CO₂/kWh, zaś blok o sprawności 50 % będzie emitować 669 g CO₂/kWh. Jest to jednak jeszcze wartość zbyt wysoka w stosunku do ostatnich propozycji amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA), ograniczającej emisję do wartości 454 g CO₂/kWh. Ważne jest, że blok energetyczny pracujący przy temperaturze pary 760 °C może zbliżyć się do założonego celu ograniczenia emisji bez stosowania technologii wychwytywania i sekwestracji CO₂ (CCS).

Ograniczenia emisyjne są ważnym czynnikiem w polityce energetycznej krajów rozwiniętych gospodarczo, gdzie obowiązują restrykcyjne regulacje środowiskowe, ale jeszcze ważniejsze są te ograniczenia dla krajów rozwijających się. Kraje takie jak Chiny i Indie szybko rozbudowują swój potencjał wytwórczy w oparciu o węgiel dla zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania, przy czym mało prawdopodobne wydaje się, by w najbliższej przyszłości wprowadzone były w tych krajach technologie CCS w skali masowej. Ograniczenie emisyjne będzie wprowadzone raczej przez wykorzystanie obiegu parowego Rankine'a o wysokiej sprawności. Im szybciej dostępne będą bloki energetyczne o sprawności 50 %, tym szybciej te kraje będą je wprowadzać do swych sektorów energii elektrycznej. Może to być kluczowym czynnikiem dla zachowania w przyszłości kontroli nad procesami ocieplenia klimatu w wymiarze globalnym.

PROJEKTY DEMONSTRACYJNE

W warunkach, gdy czynnikami stymulującymi rozwój są sprawność i emisyjność od 15 lat w Europie rozwijana jest koncepcja 50 % sprawności lub obiegu parowego o temperaturze pary świeżej 700 °C pod auspicjami programu AD 700. Częścią tego programu jest demonstracja wielkiej skali (COMTES 700), realizowana przez E.ON w elektrowni opalanej węglem w Scholven (Gelsenkirchen, Niemcy). Podczas 17 000 godzin eksploatacji elementy takie jak przegrzewacze pierwotny i wtórny pary i zawory były testowane w temperaturze 700 °C. Badania ukończone w roku 2009 doprowadziły do uaktualnienia wartości parametrów termodynamicznych pary dla eksploatacji w wyższych temperaturach. Demonstracja pełnoskalowa została zaplanowana w elektrowni E.ON-u w Wilhelmshaven, której eksploatację przewidziano od roku 2014. Jednakże kryzys, który dotknął Europę, spowodował czasowe zawieszenie tego projektu.

Program USA, realizowany od dziesięciolecia, ma zakres badań materiałowych podobny do realizowanego w Europie, a jego zaawansowanie jest również zbliżone do programu europejskiego. Fazą następną ma być projekt demonstracyjny, ale jeszcze nie podano konkretnych o tym przedsięwzięciu. Uwaga obserwatorów przemieszcza się teraz na inne obszary świata. W Chinach, Indiach i Japonii realizowane są trzy nowe programy rozwojowe. Program japoński nie ma na razie sprecyzowanego celu dla projektu demonstracyjnego, podczas gdy w Chinach proponowane jest zademonstrowanie technologii do roku 2020, a bardziej ambitny program w Indiach ma perspektywę czasową roku 2017, traktowaną jako osiągalną i będącą podstawą dla komercyjnego upowszechnienia technologii

w następnym dziesięcioleciu. Wiele przemawia za tym, iż pierwsza demonstracyjna elektrownia powstanie w Chinach lub Indiach, a nie w USA czy Europie .

STRATEGIE RÓWNOLEGŁE

Podczas gdy najważniejszą z metod polepszania sprawności bloku parowego jest zwiększenie ciśnienia i temperatury pary świeżej w obiegu parowym Rankine'a, to istnieją również inne sposoby podwyższenia osiągnięć. Jednym z nich jest suszenie węgla, technika szczególnie przydatna w spalaniu węgla brunatnego. W Niemczech , gdzie węgiel brunatny zawiera do 60 % wody, przetestowano dwie zaawansowane techniki suszenia. Jedna stanowi suszenie mechaniczne, w którym węgiel jest ogrzewany do temperatury (140 – 200) °C. Innym rozwiązaniem jest technika suszenia w złożu fluidalnym, testowana w elektrowni Niederaussem, opalanej węglem brunatnym. Wykazano, że zwiększa to sprawność o (4 – 5) punktów procentowych w porównaniu z suszeniem konwencjonalnym w tej samej elektrowni.

W USA, gdzie węgiel brunatny jest spalany bezpośrednio przy zawartości wody w paliwie wynoszącej (30 – 35) %, US DoE finansował projekt „czystego węgla”, przewidujący wykorzystanie ciepła odpadowego do suszenia podawanego węgla do kotła. Projekt ten, realizowany w elektrowni Coal Creek przedsiębiorstwa Great River Energy, już uprzednio wykazał polepszenie efektywności wykorzystania węgla i obniżenie emisji. Węgiel brunatny stanowi (17 – 20) % globalnych rezerw paliwowych, zatem zaawansowane techniki suszenia węgla mogą stać się ważną strategią w wielu regionach.

W innych okolicznościach polepszenie wykorzystania ciepła w elektrowni dla zminimalizowania strat może być pomocne w zwiększeniu sprawności. W dłuższej perspektywie czasowej skuteczne może być wprowadzenie do elektrowni ciepłych turbin o organicznym obiegu Rankine'a (ORC).

Krańcową strategią najbardziej obiecująca jest wprowadzenie podwójnego wtórnego przegrzewu pary , po raz pierwszy przetestowanego jeszcze 30 lat temu, ale w tym czasie uznanego za nieekonomiczny. Wiadomo, iż ta technika prowadzi jednak do wzrostu sprawności. Eksperymenty chińskie, przeprowadzone w elektrowni Nr 3 Shanghai Waigaoqiao, należącej do Power Generation Company stwierdziły, iż jednostka z podwójnym wtórnym przegrzewem pary w układzie poprzecznym prowadzi do minimalizacji kosztów orurowania wysokiego ciśnienia i obniża straty ciśnienia pary. Ważną cechą układu podwójnego przegrzewu pary jest możliwość jego implementacji przy wykorzystaniu parametrów termodynamicznych pary USC oraz dziś dostępnych materiałów, co prowadzi do efektu przyrostu sprawności zapewne do 48 %. Rozwiązaniem takim zainteresowane są firmy Siemens i Alstom.

Innym obszarem, ważnym z punktu widzenia udoskonaleń konstrukcji układów technologicznych elektrowni węglowych, jest zdolność elastycznej pracy przy obciążeniu częściowym. W przeszłości wiele elektrowni projektowano dla pracy z pełnym obciążeniem i

czasem użytkowania mocy zainstalowanej (7000 – 8000) godzin w roku. Jednak współczesne systemy elektroenergetyczne wymagają jednostek wytwórczych, zdolnych do pracy przy 40 % obciążenia lub nawet mniejszym przy zachowaniu dobrej sprawności. Siemens przedstawił pewne rozwiązania, zapewniające elastyczność eksploatacyjną i poszukuje obecnie inwestorów, zainteresowanych współpracą w tym zakresie.

RYNKI I MOCE ELEKTROWNI

W nadchodzącym dziesięcioleciu wiele z przedstwionych elementów postępu technicznego zostanie wdrożone w praktycznych aplikacjach, jednakże zachodzące zmiany w obszarze techniki przemieszczają środki ciężkości rynku elektrowni opalanych węglem, co ma poważne konsekwencje dla ich dalszego rozwoju. W opinii firmy GE rynek dla nowych elektrowni opalanych węglem w USA i Europie Zachodniej w najbliższych latach będzie miał rozmiary pomijalne. Tymczasem dla krajów Azji i Europy Wschodniej (Indie, Chiny, Korea Płn , Polska) rynek ten jest wielce obiecujący [2]. Tak więc tendencje na tych wschodzących rynkach staną się czynnikiem sprawczym postępu technicznego. Przykładowo rynki mogą poszukiwać mniejszych elektrowni opalanych węglem o wysokiej sprawności i mocach znamionowych w zakresie (400 – 600) MW zamiast 1000 MW. Osiągnięcia technologiczne umożliwiają budowę takich mniejszych bloków USC, zapewniając równocześnie utrzymanie dobrej sprawności, chociaż niższej niż dla większych mocy. Ilustracją tego zjawiska są doniesienia o uruchomieniu w Chinach jednostki o parametrach nadkrytycznych pary i mocy 350 MW.

Na drugim krańcu spektrum mocowego ekonomika skali, wynikająca ze zwiększenia mocy jednostek, może prowadzić do większej efektywności kosztowej bloku o sprawności 50 %, wykorzystującego zaawansowane materiały i uzyskujące moce większe niż dziś uważane za typowe – prawdopodobnie (1200 – 1300) MW. Ze wzrostem mocy jednostki obniża się koszt zainstalowania 1 kW, generalnie polepsza się też sprawność turbiny.

Z perspektywy biznesowej jest wiele czynników do rozgrywania wraz z przemieszczeniem na rynkach. Wielu liczących się wytwórców zachodnich będzie zmuszonych do większego wysiłku w walce konkurencyjnej. Przy oczekiwanym postępie (również w obszarze technologii CCS) przemysł budowy nowych elektrowni, wykorzystujących obieg parowy Rankine’a oczekuje dekady impulsów rozwojowych i zmian.

Literatura

- [1] Z. Dziemidowicz, P. Szyszka, I. Krupa: Bloki na horyzoncie. Wymagania techniczne nowych jednostek wytwórczych w PGE Elektrowni Opole S.A.. Energetyka ciepła i zawodowa 11/2011 (495)
- [2] P. Breeze : Raising steam plant efficiency –Pushing the steam cycle boundaries. PEI Magazine, Vol. 20, Iss. 4, April 2012
- [3] US Energy Information Administration : Energy Outlook 2011, Washington, 2012
- [4] VEB : Gas & Steam Turbine Directory, 2012
- [5] Electric Power Research Institute : Outlook 2011, Palo Alto, 2012