



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika
Świętokrzyska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

*przemiana energetyczna,
parametry termodynamiczne,
modelowanie*

GAD Stanisław¹
PAWLAK Agnieszka²

ZAŁOŻENIA MODELOWE PROCESU WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ PODCZAS WSPÓLSPALANIA BIOMASY Z WĘGLEM KAMIENNYM

Podjęto problem wytwarzania energii elektrycznej w szeregu przemian energetycznych. Utworzony model pozwala powiązać ze sobą parametry poszczególnych przemian energii, począwszy od dostarczonego paliwa, w układzie kocioł parowy – turbina parowa – generator.

W pracy dokonano weryfikacji równań i bilansów w oparciu o wyniki uzyskane na drodze doświadczalnej w obiekcie rzeczywistym, w celu określenia poprawności założeń. Poruszono problem właściwości czynnika roboczego i termodynamicznych parametrów stanu czynnika oraz towarzyszących zjawisk fizycznych. Przedstawiono możliwości stworzonego modelu symulacyjnego.

THE MODEL ASSUMPTIONS OF THE ELECTRICITY GENERATION PROCESS DURING CO-BURNING BIOMASS WITH HARD COAL

The paper describes the problem of electricity generation in a series of energy transformations. Created model allows to link together the various parameters of energy transformation from the supplied fuel in the system steam boiler - steam turbine - generator.

The paper is a verification of the equations and energy balances based on the results obtained experimentally in a real object, to determine the correctness of the assumptions. The problem of the working factor properties is discussed and thermodynamic parameters of the factor and associated physical phenomena are presented. The article deals with the possibilities of the simulation model.

¹ dr hab. inż. Stanisław Gad, prof. PŚk, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki, 25-314 Kielce, Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, E-mail: sgad@tu.kielce.pl;

² mgr inż. Agnieszka Pawlak, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki, 25-314 Kielce, Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, E-mail: a.pawlak85@gmail.com

1. WPROWADZENIE

Wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowni parowej wymaga trójstopniowego przetwarzania energii wejściowej. Rozpatrywany proces produkcji energii dotyczy konwencjonalnej blokowej elektrowni parowej, opalanej węglem kamiennym współspalany z biomasą. Do urządzeń wytwórczych ośmiu bloków energetycznych należą kotły energetyczne EP 650-137, turbiny parowe 13K – 215 – ND41 – M1, generatory TWW-200-2A U3 oraz TWW-215-2M i transformatory blokowe TW 240000/110, TW 240000/220, TOBNLa 270000/220, TFBb 240000/400. Ze względu na pracę elektrowni w układzie blokowym modelowanie zostało przeprowadzone dla jednego wyodrębnionego bloku.

2. PRZEBIEG PRZETWARZANIA ENERGII

2.1 Energia chemiczna a energia cieplna

Pierwszy stopień przetwarzania energii następuje w kotle parowym i obejmuje zamianę energii chemicznej paliwa w energię cieplną czynnika roboczego (pary wodnej). Strumień energii w paliwie doprowadzonym do kotła nie może być w całości przekazywany do turbiny, z powodu występowania strat w kotle jak i strat przesyłu ciepła z kotła do turbiny.

Zatem strumień energii \dot{Q}_B dostarczony z paliwem jest równoważny strumieniowi energii \dot{Q}_K przejmowanemu przez czynniki termodynamiczne oraz strumieniowi strat energii w kotle $\Delta\dot{Q}_K$ [6]. Sprawność kotła określono wzorem:

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_B}, \quad (1)$$

przy czym: \dot{Q}_B - strumień energii dostarczony z paliwem, kJ/s,

\dot{Q}_K - strumień energii przejmowany przez czynnik roboczy w kotle, kJ/s.

Strumienie energetyczne opisują odpowiednio formuły:

$$\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot W_r, \quad (2)$$

dla kotła parowego:

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_D (i_k - i_{wz}) + \dot{m}_{Dm} (i_{m2} - i_{m1}), \quad (3)$$

gdzie: \dot{m}_B - strumień masy paliwa, kg/s,

W_r - wartość opałowa paliwa, kJ/kg,

\dot{m}_D - strumień masy pary pierwotnej, kg/s,

\dot{m}_{Dm} - strumień masy pary wtórnej, kg/s,

i_k - entalpia pary za kotłem, kJ/kg,

i_{wz} - entalpia wody zasilającej kocioł, kJ/kg,

i_{m2} - entalpia pary na wylocie przegrzewacza wtórnego, kJ/kg,

i_{m1} - entalpia pary na wlocie przegrzewacza wtórnego, kJ/kg.

Przesył pary do turbiny odbywa się rurociągami, a więc zasadnym jest wyznaczenie sprawności rurociągów:

$$\eta_r = \frac{\dot{Q}_t}{\dot{Q}_K}, \quad (4)$$

\dot{Q}_t - strumień energii w parze doprowadzonej do turbiny, kJ/s.

Strumień energii w parze doprowadzonej do turbiny jest równoważny zapisowi :

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{Dt} (i_1 - i_{wz}), \quad (5)$$

odpowiednio: \dot{m}_{Dt} - strumień masy pary wpływającej do turbiny, kg/s,

i_1 - entalpia pary przed turbiną, kJ/kg.

2.2 Energia cieplna a energia mechaniczna

Drugim stopień przemian energetycznych stanowi przekształcenie energii cieplnej na mechaniczną. Proces ten zachodzi w turbinie parowej, wykorzystującej zjawisko rozprężania się pary, a więc przemiany energii cieplnej w kinetyczną. Część energii kinetycznej strumienia pary zostaje przekazana wirnikowi turbiny i zostaje wykonana praca L_t [6].

Zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki ciepło doprowadzone do układu jest równe sumie przyrostu energii wewnętrznej oraz pracy bezwzględnej, wykonanej przez ten układ [7].

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta L \quad (6)$$

gdzie: ΔU - przyrost energii wewnętrznej,

ΔL - praca wykonana przez układ.

Początki rozwoju termodynamiki pokazują, że praca i ciepło nie było utożsamiane jako różne postacie tej samej energii – mierzone były w różnych jednostkach.

Turbiny są urządzeniami służącymi do zmiany dysponowanej entalpii całkowitej czynnika w pracę, wykonywaną na powierzchniach ruchomych [1]. Ujemny wydatek pracy jest pokrywany kosztem pobieranej z wewnątrz pracy technicznej (ujemne vdp, ponieważ ciśnienie maleje), ujemnej energii kinetycznej (praca wykonana kosztem spadku energii kinetycznej) [1].

Najważniejszymi elementami turbin parowych są nieruchome tarcze umieszczone w kadłubie – stojanie turbiny (wraz z dyszami lub łopatkami kierowniczymi) i koła z

łopatkami wirnika zamontowane na wale turbiny. Dysze i łopatki stanowią kanały przepływu pary. Łopatki kierownicze i łopatki wirnika tworzą wieńce stojanowe i wieńce wirnikowe. Wieniec stojanowy i następujący po nim wirnikowy tworzą stopień turbiny [6].

Jednostopniowe turbiny charakteryzują się małymi sprawnościami, ponieważ duże prędkości wlotowe pary powodują, że duże są również prędkości wylotowe, będące przyczyną znaczących strat wylotowych. Turbiny buduje się jako wielostopniowe, wprowadzając gradację ciśnień, co oznacza, że całkowity dysponowany spadek entalpii rozłożony jest nie na jeden, a na wiele stopni.

Rozprężanie się pary, a zatem spadek ciśnienia, powoduje przyrost prędkości czynnika roboczego. W stopniu akcyjnym turbiny parowej rozprężanie pary zachodzi tylko w wieńcu łopatkowym w kadłubie (nie zachodzi w wirniku), a praca jest wykonana przez akcję, czyli nacisk powstały przez zmianę kierunku strumienia pary w kanałach łopatkowych wieńca wirnikowego [6]. W stopniu reakcyjnym praca wykonywana jest przez akcję jak i przez reakcję, wywołaną przyrostem prędkości pary rozprężanej – rozprężanie pary zachodzi także w kanałach wieńca wirnikowego.

Według równania bilansu energii praca sił powstałych w wyniku oddziaływania przepływu masy pary na łopatki wirnika jest równa [6]:

$$L_t = m_D \left[\left(i_0 + \frac{c_0^2}{2} \right) - \left(i_2 + \frac{c_2^2}{2} \right) \right] \quad (7)$$

gdzie: m_D - masa pary w stopniu, kg,

i_0 - entalpia pary na wlocie do wieńca stojanowego, kJ/kg,

c_0 - prędkość wlotowa pary w stopniu turbiny, m/s,

i_2 - entalpia pary na wylocie z wieńca wirnikowego, kJ/kg,

c_2 - prędkość wylotowa pary w stopniu turbiny, m/s.

Różniczkując równanie (7) względem czasu t dla ustalonego stanu termodynamicznego układu uzyskuje się moc przekazywaną na wał turbiny przez dany stopień turbiny [6]:

$$\frac{d}{dt} L_t = P \quad (8)$$

gdzie: P - moc przekazywana na wał turbiny, przez dany stopień turbiny, W.

Zasada zachowania energii wiąże się z ograniczeniami wykorzystania i przetwarzania energii. Na podstawie zasad dynamiki Newtona można wyprowadzić zasadę zachowania energii dla punktu materialnego. Reguła ta jest skutkiem jednorodności czasu, co oznacza, że przebieg zjawiska nie zależy od wyboru chwili początkowej. Uogólniona postać drugiej zasady dynamiki Newtona ma postać:

$$\vec{F} = \frac{d \vec{p}}{dt}, \quad (9)$$

gdzie, $\vec{p} = m \vec{v}$ - wektor pędu rozpatrywanej cząstki.

Jeżeli obie strony równania (9) zostaną pomnożone skalarnie przez infinytezymalny wektor przemieszczenia $d\vec{x}$ zostanie uzyskana następująca formuła:

$$\vec{F} \cdot d\vec{x} = \frac{d\vec{p}}{dt} \cdot d\vec{x} \quad (10)$$

Lewa strona równania jest pracą elementarną – siła działająca na ciało w ruchu wykonuje pracę. Mnożąc skalarnie siłę \vec{F} , która działa na punkt materialny, poruszający się w układzie inercyjnym, przez infinytezymalny wektor przemieszczenia $d\vec{x}$, uzyskuje się pracę wykonaną przez siłę \vec{F} przy przesunięciu $d\vec{x}$.

$$dL = \vec{F} \cdot d\vec{x} \quad (11)$$

Jak podano w [2] całkowita praca wykonana między punktami A i B jest sumą prac elementarnych dL :

$$L_{A \rightarrow B} = \int_A^B dL = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} \quad (12)$$

Jeżeli masa cząstki nie zmienia się w czasie ruchu, prawa strona równania (10) będzie równa:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} \cdot d\vec{x} = \frac{m d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{x} = m d\vec{v} \cdot \frac{d\vec{x}}{dt} = m d\vec{v} \cdot \vec{v} \quad (13)$$

Całkowita praca między punktami A i B będzie równa:

$$\begin{aligned} L_{A \rightarrow B} &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_A^B m d\vec{v} \cdot \vec{v} = m \int_A^B \vec{v} \cdot d\vec{v} = \left[\frac{1}{2} m v^2 \right]_A^B = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = \\ &= E_{KB} - E_{KA} = \Delta E_K \end{aligned} \quad (14)$$

Praca wykonana przez siłę \vec{F} na drodze między punktami A i B jest równa zmianie energii kinetycznej cząstki. Jeśli w układzie działają siły niezachowawcze praca elementarna dL przez nie wykonywana jest ujemna: siły niezachowawcze mają zwrot przeciwny do zwrotu wektora prędkości \vec{v} i przesunięcia $d\vec{x}$. Zgodnie z [2] jeżeli ciało, na które działa jedna lub więcej sił powraca do położenia początkowego i ma inną energię kinetyczną niż na początku oznacza to, że po przebyciu drogi zamkniętej zdolność tego ciała do wykonania pracy nie została zachowana.

Praca wykonana przez czynnik zewnętrzny jest równa sumie wzrostów energii kinetycznej, energii potencjalnej i energii wewnętrznej [2].

$$L_{zew} = \Delta E_K + \Delta E_P + \Delta U, \quad (15)$$

gdzie: ΔE_K - zmiana energii kinetycznej,

ΔE_P - zmiana energii potencjalnej,

ΔU - zmiana energii wewnętrznej.

2.2.1 Bilanse energetyczne

Praca w turbinie parowej jest skutkiem przyrostu energii wewnętrznej i spadku energii kinetycznej (praca jest wykonana kosztem spadku energii kinetycznej). Wiedząc, że substancja niesie ze sobą kilka form energii, bilans może być sporządzony tylko dla tych form, które mogą być przekonwertowane w inne użyteczne postacie energii. Czynnik roboczy niesie strumień energii \dot{E}_1 i przepływa przez urządzenie konwertujące. Zgodnie z bilansem energii całkowitej strumień energii \dot{E}_1 niesiony przez czynnik roboczy jest równy strumieniowi energii \dot{E}_2 opuszczającej urządzenie konwertujące [1]. Bilans energii ma postać:

$$\dot{m}_1 \left(u_1 + \frac{c_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + z_1 g \right) = \dot{m}_2 \left(u_2 + \frac{c_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + z_2 g \right), \quad (16)$$

gdzie: u - energia wewnętrzna,

$\frac{c^2}{2}$ - energia kinetyczna,

$\frac{p}{\rho}$ - energia ciśnienia,

zg - energia ciężenia,

\dot{m} - strumień masy pary.

Entalpia jest sumą energii wewnętrznej i energii ciśnienia:

$$i = u + \frac{p}{\rho} \quad (17)$$

Biorąc pod uwagę rodzaj procesu przemiany energii, poszczególne energie można ze sobą składać w dowolne zestawienia, z uwzględnieniem tego, jaka forma przemiany energetycznej przeważa w przepływie. Trzeba tutaj wymienić energię kinetyczną niesioną przez substancję, energię wewnętrzną magazynującą sprężyste różne postacie energii, energię ciężenia (przepływ odbywa się w grawitacyjnym polu ciężenia), energię związaną (czynnik pobiera i przeistacza ciepło). Warto nadmienić, że energia wewnętrzna jest ukryta

energią kinetyczną bezładnie poruszających się cząstek płynu oraz ukrytą energią potencjalną oddziaływań międzycząsteczkowych [1].

2.3 Energia mechaniczna a energia elektryczna

Trzecim, ostatnim stopniem przetwarzania energii jest zamiana energii mechanicznej turbiny w energię elektryczną generatora. Zależności pomiędzy mocą cieplną Q_T doprowadzoną w postaci pary do turbozespołu i mocą elektryczną P_G , oddawaną przez prądnicę są przedstawione jako [7]:

$$P_i = D_T(i_1 - i_2), \quad (18)$$

gdzie: P_i - moc wewnętrzna turbiny,

D_T - strumień masy pary przepływającej przez turbinę,

i_1 - entalpia pary wlotowej do turbiny,

i_2 - entalpia pary wylotowej z turbiny (rzeczywista).

$$P_m = P_i \eta_m = D_T(i_1 - i_2) \eta_m, \quad (19)$$

P_m - moc mechaniczna turbiny,

η_m - sprawność mechaniczna turbiny.

$$P_G = P_m \eta_G = D_T(i_1 - i_2) \eta_m \eta_G, \quad (20)$$

P_G - moc elektryczna generatora,

η_G - sprawność elektryczna generatora.

$$Q_T = D_T(i_1 - i_3), \quad (21)$$

Q_T - moc cieplna doprowadzona do turbiny,

i_3 - entalpia wody za skraplaczem.

W generatorze synchronicznym obwód uzwojenia wirnika jest zasilany z zewnątrz prądem stałym (lub prądem przemiennym o określonej częstotliwości). Wirujące pole stojana i wirnika są nieruchome względem siebie wyłącznie przy jednej prędkości (synchronicznej $n = 60f/p$). Jeśli maszyna synchroniczna pracuje jako prądnica, twornikiem jest stojan urządzenia. Wirnik maszyny napędza się mechanicznie i jednocześnie zasila uzwojenia wzbudzenia (wirnika) prądem stałym. Wytworzone pole wirnika wiruje względem stojana, indukując w uzwojeniu stojana napięcia. Przyłączenie odbiorników do zacisków uzwojenia stojana spowoduje popłynięcie w nich prądu [8].

3. ELEMENTY MODELOWE

Kocioł parowy EP 650-137 to kocioł jednowalczakowy, opromieniowany, jest przystosowany do współpracy z turbiną 13 K – 215 – ND41 – M1. Parametry pary wylotowej z kotła decydują o sprawności całego bloku. Jak podano w [4] aby kocioł mógł pracować z obciążeniem nominalnym masa dostarczonego paliwa powinna wynosić 115 t/h – masowo 80% węgla o wartości opałowej 21 MJ/kg i 20% biomasy o wartości opałowej 9,8 MJ/kg. Ilość pary wytworzonej w kotle zależy od zapotrzebowania mocy. Dla parametrów paliwa przedstawionych powyżej możliwe jest wytworzenie pary w ilości około 650 t/h. Dotrzymanie właściwych parametrów temperatury i ciśnienia wpływa na wielkość zużycia paliwa.

Budowa kotła EP 650-137 jest dwuciągowa: pierwszy ciąg to komora paleniskowa, a drugi to ciąg konwekcyjny, skrócony, pod którym znajdują się dwa obrotowe podgrzewacze powietrza. Obydwa ciągi połączone są kanałem – międzyciągiem. Strumienie pary świeżej i wtórnej są niezależne. Ekran parownika oraz opromieniowany podgrzewacz pary świeżej umieszczone są w komorze paleniskowej, w jej górnej części znajdują się grodzie przegrzewacza pary świeżej. Przegrzewacz konwekcyjny pary wtórnej zabudowany jest w międzyciągu, a podgrzewacz wody w ciągu konwekcyjnym [4].

Dla mocy 200MW parametry techniczne kotła są następujące:

- m_D - ilość pary świeżej = 650 t/h = 180 kg/s,

- m_{Dm} - ilość pary wtórnej = 572 t/h = 158 kg/s.

Entalpię wody zasilającej kocioł wyznaczono na podstawie parametrów pary kotła dla 200MW.

- temperatura wody zasilającej (na wlocie do podgrzewacza wody) 244°C,

- ciśnienie wody na wlocie do podgrzewacza wody 15,6 MPa.

Według kalkulatora termodynamicznego (tabel lub wykresów entalpia – entropia zmienności parametrów pary wodnej), opracowanego w firmie REMTUR Jelenia Góra, zajmującej się diagnostyką termodynamiczną turbin parowych entalpia wody zasilającej kocioł jest równa: $i_{wz} = 1632,6$ kJ/kg. Entalpia pary za kotłem odpowiednio dla:

- temperatury pary świeżej na wylocie z kotła (za przegrzewaczem) 540°C,

- ciśnienia pary świeżej 13,7 MPa.

$i_k = 3435,7$ kJ/kg.

Entalpia pary na wlocie przegrzewacza wtórnego:

- temperatura pary wtórnej przed przegrzewaczem międzystopniowym 328°C,

- ciśnienie pary wtórnej 2,4 MPa.

$i_{m1} = 3078,5$ kJ/kg.

Entalpia pary na wylocie przegrzewacza wtórnego:

- temperatura pary wtórnej za przegrzewaczem międzystopniowym 535°C,

- ciśnienie pary wtórnej 2,4 MPa.

$i_{m2} = 3540,2$ kJ/kg.

W celu określenia strumienia energii \dot{Q}_t w parze doprowadzonej do turbiny skorzystano z charakterystyki technicznej turbiny 13 K – 215 – ND41 – M1,

kondensacyjnej, trójkadłubowej z międzystopniowym przegrzewam pary, z siedmiostopniowym układem regeneracyjnym zasilanym z nieregulowanych upustów turbiny [5].

Dla temperatury pary świeżej 535°C i ciśnienia pary świeżej 12,75 MPa, entalpia pary przed turbiną jest równa $i_1 = 3431,4$ kJ/kg. Zużycie pary wynosi 570÷700t/h = 158÷194kg/s. Entalpia pary wylotowej z części niskoprężnej dla:

- temperatury pary wylotowej z części niskoprężnej 26,9°C

- ciśnienia pary wylotowej z części niskoprężnej 3 kPa

$i_2 = 2550,3$ kJ/kg.

Prędkość wlotowa pary w stopniu turbiny $c_0 = 38$ m/s (wlot na łopatki kierownicze 1-szego stopnia części WP), prędkość wylotowa pary w stopniu turbiny $c_2 = 205$ m/s (wylot z łopatek ostatniego stopnia NP w warunkach znamionowych, podane przez producenta).

Turbina składa się z trzech części: wysokoprężnej WP, średnioprężnej SP i dwuwylotowej części niskoprężnej NP. Część WP posiada 12 stopni, część SP 11 stopni, część NP posiada 2x4 stopnie. Części WP, SP i NP połączone są ze sobą sprzęgłami. Sprzęgło sztywne łączy część wirnika WP i SP, a sprzęgła półsztywne część SP – NP i NP – generator. Upusty nieregulowane są rozłożone w porządku: dwa z kadłuba wysokoprężnego, cztery z kadłuba średnioprężnego i jeden podwójny z kadłuba niskoprężnego. Para świeża przepływa z kotła rurociągami do części WP przez dwie główne zsuwy parowe (dwa zawory szybkozamykające). Następnie z części wylotowej kadłuba WP para przedostaje się dwoma rurociągami do kotła do przegrzewaczy pary wtórnej. Po osiągnięciu temperatury 535°C para kierowana jest dwoma rurociągami do dwóch komór zaworowych części SP (zawory odcinające zrzut pary, zawory regulacyjne zrzutu pary). Z części wylotowej kadłuba SP para przepływa dwoma rurociągami do środkowej części kadłuba NP, strumienie wykonują pracę w dwóch czterostopniowych układach łopatkowych, po czym odprowadzane są do dwóch kondensatorów [5].

Turbiny napędzają generatory typu TWW-200-2A U3 na bloku 2, 3, 4, 5, 6, 8 oraz TWW-215-2M na bloku 1 i 7 [3]. Moment obrotowy z turbiny przenoszony jest do generatora (TWW-200-2A) przez sprzęgło półelastyczne. Uzwojenie stojana chłodzone jest wodą destylowaną, a żelazo czynne wodorem, który wypełnia stojan. Wirnik stanowi jednolita odkuwka stali stopowej. Uzwojenie wirnika jest dwubiegunowe i wykonane z miedzi z dodatkiem srebra. Uzwojenie chłodzone jest wodorem. Na izolowany wał wirnika nasadzone są na gorąco pierścienie ślizgowe. Wzbudzenie generatora to trójfazowy indukcyjny generator prądu zmiennego wraz z półprzewodnikowymi prostownikami. Wał generatora napędza wirnik wzbudnicy za pomocą wałka torsyjnego [3].

4. WERYFIKACJA WYNIKÓW

Utworzony model matematyczny opiera się na prawach fizyki i uzyskanych na drodze doświadczalnej wynikach pomiarów, a więc łączy cechy modelu analitycznego i empirycznego [9]. Wybór przedstawionego powyżej optymalnego punktu pracy podyktowany jest warunkami eksploatacji podzespołów biorących udział w wytwarzaniu energii elektrycznej. Przy określaniu pracy sił powstałych w turbinie podczas przepływu masy pary przez łopatki założono, że masa pary zmienia się w przedziale od 570 do 800 t/h, co pozwala zaobserwować wpływ zwiększającego się strumienia masy pary na wielkość

wykonanej pracy. Dla warunków znamionowych (zużycie pary równe 700t/h) podanych w [5], uzyskano moc przekazywaną na wał turbiny na poziomie 168 MW. Sprawności kotła i rurociągów uzyskane symulacyjnie są niższe (dla kotła wyniosła 0,86, dla rurociągów 0,66), niż podaje się w literaturze i instrukcji (sprawność kotła 0,916, rurociągów 0,98÷0,99), co tłumaczy zaniżoną symulacyjną wartość mocy.

5. WNIOSKI

Artykuł podejmuje zagadnienia fizycznych zjawisk występujących podczas produkcji energii elektrycznej. Zasymlowany proces przedstawia przetwarzanie odpowiednich danych pomiarowych, tworzących model najważniejszych etapów procesu. Istnieje możliwość zadawania parametrów paliwa wsadowego, ważnego ze względu na ekonomię pracy bloku elektrowni. Artykuł jest punktem wyjścia do dalszych badań i określenia wpływu przepływu pary na pracę wytworzoną w turbinie. Porównanie bilansów energetycznych zgodnych z pierwszą zasadą termodynamiki oraz pracy wykonanej przez czynnik roboczy w turbinie parowej pozwala dobrać optymalne parametry pary, gwarantujące wytworzenie odpowiedniej mocy wyjściowej.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Badur J., *Pięć wykładów ze współczesnej termomechaniki płynów*, Zakład Konwersji Energii, Ośrodek Termomechaniki Płynów, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk 2005
- [2] <http://lodd.p.lodz.pl/~iowczarek/extra/wyklad4.pdf>
- [3] *Instrukcja eksploatacji generatorów*, dokument nadzorowany w wersji elektronicznej przez Elektrownię Połaniec S.A. – Grupa GDF SUEZ Energia Polska
- [4] *Instrukcja eksploatacji kotła EP 650-137*, dokument nadzorowany w wersji elektronicznej przez Elektrownię Połaniec S.A. – Grupa GDF SUEZ Energia Polska
- [5] *Instrukcja eksploatacji turbiny 13 K – 215 – ND41 – M1*, dokument nadzorowany w wersji elektronicznej przez Elektrownię Połaniec S.A. – Grupa GDF SUEZ Energia Polska
- [6] Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Warszawa, WNT, 2007
- [7] Marecki J., *Podstawy przemian energetycznych*, Warszawa, WNT, 1995
- [8] Plamitzer A. M., *Maszyny elektryczne*, Warszawa, WNT, 1986
- [9] Rusinowski H., Szapajko G., *Ocena energetyczna eksploatacji bloku ciepłowniczego z turbiną upustowo – kondensacyjną*, Rynek Energii, 06/2009

Udział w Konferencji współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
Projektu pt. „Program Rozwojowy Potencjału Dydaktycznego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach:
kształcenie na miarę sukcesu”

Program Operacyjny Kapitał Ludzki Priorytet IV Działanie 4.1 Poddziałanie 4.1.1
Umowa UDA-POKL.04.01.01-00-175/08-02
Politechnika Świętokrzyska, 25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7