

Radosław SZCZERBOWSKI*

WPLYW ZMIAN WYBRANYCH PARAMETRÓW UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO ELEKTROWNI NA WSKAŹNIKI EKSPLOATACYJNE

W referacie przedstawiono sposób modelowania nadkrytycznego bloku energetycznego elektrowni parowej o mocy 660 MW. Przedstawiono analizę termodynamiczną bloku oraz wyniki symulacji numerycznej pracy elektrowni dla warunków znamionowych. Model elektrowni został zaimplementowany w programie excel z wykorzystaniem bibliotek określających parametry wody i pary. W referacie wyznaczono moc elektrowni i sprawność wytwarzania energii elektrycznej. Ponadto przeanalizowano wpływ zmian wybranych parametrów obiegu na wybrane wskaźniki eksploatacyjne. Wyniki wykonanej analizy zostały przedstawione w tablicach i na wykresie.

SŁOWA KLUCZOWE: elektrownia, badania symulacyjne, wskaźniki eksploatacyjne

1. WPROWADZENIE

Polski system elektroenergetyczny należy do największych w Europie. Jego moc zainstalowana wynosi obecnie ponad 38 GW, z czego ponad 30 GW koncentruje się w dwudziestu wielkich elektrowniach i elektrociepłowniach. Jest to ilość, która w pełni pokrywa zapotrzebowanie naszego Kraju. Niestety większość z tych elektrowni to jednostki, których czas pracy przekroczył już 30 lat. Prognozy na najbliższe lata zakładają, że konieczna jest budowa nowych źródeł wytwórczych. Niedobory energii do tego czasu powinna wyrównywać modernizacja istniejących elektrowni i rozbudowa systemu odnawialnych źródeł energii.

Rozwój energetyki węglowej ograniczony jest szeregiem barier technicznych, ekonomicznych i ekologicznych. Wyraźny wzrost sprawności wytwarzania energii w elektrowniach węglowych wymaga zastosowania nadkrytycznych parametrów pary. Obniżenie emisji szkodliwych substancji do atmosfery wiąże się z koniecznością przeznaczenia znaczących nakładów inwestycyjnych na instalacje oczyszczania spalin oraz na nowoczesne systemy spalania w kotle.

W 1962 roku wprowadzono w Polsce do eksploatacji pierwszy blok energetyczny o mocy 200 MW i parametrach pary: 13,5 MPa oraz 535°C. W tamtych

* Politechnika Poznańska.

czasach był to najwyższy światowy poziom technologii wytwarzania energii w blokach parowych. Przez kolejne dwie dekady powstały w Polsce 63 takie bloki. Następnie pod koniec lat siedemdziesiątych w naszym Kraju zainstalowano dwa bloki o mocy 500 MW. Lata osiemdziesiąte to czas instalowania nowoczesnego i uniwersalnego bloku 360 MW, na parametry pary 17,6 MPa oraz 535°C. Jego wielką zaletą była możliwość wytwarzania mocy 396 MW przy szczycie obciążenia. Taki rozwój technologii pozwolił na scentralizowanie produkcji energii w dużych obiektach. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe zakresy parametrów pary w układach technologicznych stosowanych w światowych elektrowniach w latach 1960 – 1990.

Tabela 1. Parametry pary w elektrowniach w latach 1960 – 1990 [1]

Ciśnienie pary dolotowej	MPa	12,5–14 – moc do 300 MW
		16–18 – moc 300 – 800 MW
		23–25 – moc do 1300 MW
Temperatura pary świeżej	°C	530–540 (565)
Liczba stopni podgrzewania regeneracyjnego	–	7–9
Temperatura wody zasilającej	°C	250 – 280

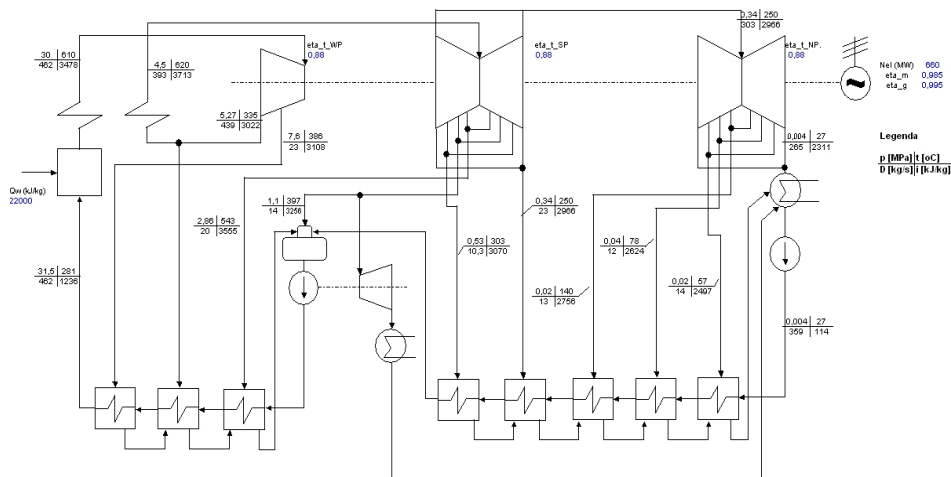
Kamieniem milowym w walce z poprawą sprawności elektrowni było odkrycie nowych gatunków stali, a co za tym idzie możliwość podniesienia parametrów pary świeżej. Obecnie udaje się osiągnąć parametry nadkrytyczne pary czyli ciśnienie ponad 30 MPa, temperaturę pary w zakresie 580–600°C oraz temperaturę wody zasilającej dochodzącą do 300°C. Zmiany te pozwalają na osiągnięcie sprawności wytwarzania energii elektrycznej powyżej 45%.

Obecnie dąży się do złamania nieosiągalnej granicy sprawności 50%. Wydaje się, że najbardziej efektywną metodą poprawy sprawności jest podnoszenie wartości parametrów obiegu. Lepsze efekty przynosi zwiększanie temperatury pary świeżej (wzrost temperatury o 20°C daje 1% przyrostu sprawności). Mniej efektywną metodą jest podnoszenie ciśnienia (wzrost ciśnienia o 1 MPa daje jedynie 0,2% przyrostu sprawności). Trudności sprawiają również rozwiązania materiałowe. Jeszcze 40–50 lat temu odkrywanie nowych stopów stali pozwalało na znaczne skoki w zwiększaniu sprawności. Obecnie stale stopowe są u kresu swych możliwości technicznych i odchodzi się od nich na rzecz materiałów na bazie niklu [1, 2, 3, 4].

2. UKŁAD TECHNOLOGICZNY BLOKU 660 MW

Analizie poddany został układ technologiczny o mocy 660 MW. Podobny blok zbudowano i pracuje w elektrowni Ledvice w Czechach. Bloki o tej mocy, pracujące na parametrach nadkrytycznych, są coraz bardziej popularne na całym świecie. W samych Indiach zgodnie z programem rozwoju hinduskiego systemu

energetycznego planuje się budowę ponad 80 bloków o mocach rzędu 600 i 800 MW. Schemat technologiczny bloku przedstawiono na rys. 1, natomiast najważniejsze parametry bloku 660 MW przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1. Układ technologiczny bloku o mocy 660 MW

Tabela 2. Najważniejsze parametry techniczne kotła i turbiny bloku 660 MW [6,7,8]

Parametr	Jednostka	Wartość
Ogólne		
Rodzaj paliwa	–	węgiel brunatny
Moc elektryczna	MW	660
Kocioł		
Maksymalna wydajność	kg/s	468
Ciśnienie pary świeżej wylot	MPa	30
Temperatura pary świeżej wylot	°C	610
Temperatura pary wtórnej wlot/wylot	°C	335/620
Temperatura wody zasilającej	°C	280
Turbina		
Moc znamionowa	MW	660
Ciśnienie na wlocie WP	MPa	29
Temperatura na wlocie WP	°C	605
Ciśnienie na wlocie SP	MPa	4,5
Temperatura na wlocie SP	°C	615
Ciśnienie na wlocie NP	MPa	3,4
Temperatura na wlocie NP	°C	250

Do analizy termodynamicznej układu wykorzystano jeden z wielu dostępnych programów, który pozwala na wyznaczanie parametrów termodynamicznych pary i wody. Program „Water97_v1.13.xla” to zestaw funkcji dołączanych jako biblioteka do programu MS Excel, który pozwala na wyznaczanie wielu parametrów termodynamicznych oraz transportowych wody i pary.. Biblioteka ta zawiera szereg gotowych funkcji, które można wykorzystać w obliczeniach numerycznych układów technologicznych elektrowni. W tworzeniu tej biblioteki korzystano z międzynarodowych standardów IAPWS–IF97 (International Assosiation for the Properties of Water and Steam – Industrial Formulation 97). Autorem tej biblioteki jest Bernhard Spang, jest ona dostępna pod adresem internetowym [5]. Autor tej biblioteki zezwolił na jej darmową redystrybucję z zastrzeżeniem, że nie można w niej dokonywać zmian oraz nie może ona być sprzedawana bez wyraźnej zgody autora.

3. MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU TECHNOLOGICZNEGO BŁOKU PAROWEGO 660 MW

Aby rozwiązać układ technologiczny bloku 660 MW konieczne jest stworzenie równań bilansowych opisujących poszczególne elementy bloku parowego. Model matematyczny bloku parowego 660 MW przedstawia się następująco:

Bilans wymiennika W1:

$$D(i'_{2-1} - i_{wz}) + D_1(i'_1 - i'_{2-1}) = 0 \quad (1)$$

Bilans wymiennika W2:

$$D(i'_{3-2} - i'_{2-1}) + D_1(i''_{1-2} - i''_{2-3}) + D_{22}(i'_{22} - i''_{2-3}) = 0 \quad (2)$$

Bilans wymiennika W3:

$$D(i'_{od-3} - i'_{3-2}) + D_1(i''_{2-3} - i''_{3-od}) + D_{22}(i''_{2-3} - i''_{3-od}) + D_3(i'_3 - i''_{3-od}) = 0 \quad (3)$$

Bilans wymiennika W4:

$$D(i'_{5-4} - i'_{4-od}) - D_1(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - D_{22}(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - D_3(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - D_{01}(i'_{5-4} + i'_{4-od}) + D_4(i'_{4-5} - i''_{4-5}) = 0 \quad (4)$$

Bilans wymiennika W5:

$$D(i'_{6-5} - i'_{5-4}) - D_1(i'_{6-5} + i'_{5-4}) - D_{22}(i'_{6-5} + i'_{5-4}) - D_3(i'_{6-5} + i'_{5-4}) - D_{01}(i'_{6-5} + i'_{5-4}) + D_4(i''_{4-5} - i''_{5-6}) + D_5(i'_{5-6} - i''_{5-6}) = 0 \quad (5)$$

Bilans wymiennika W6:

$$D(i'_{7-6} - i'_{6-5}) - D_1(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - D_{22}(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - D_3(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - D_{01}(i'_{7-6} + i'_{6-5}) + D_4(i''_{5-6} - i''_{6-7}) + D_5(i''_{5-6} - i''_{6-7}) + D_6(i'_{6-7} - i''_{6-7}) = 0 \quad (6)$$

Bilans wymiennika W7:

$$D(i'_{8-7} - i'_{7-6}) - D_1(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - D_{22}(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - D_3(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - D_{01}(i'_{8-7} + i'_{7-6}) + D_4(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + D_5(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + D_6(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + D_7(i'_{7-8} - i''_{7-8}) = 0 \quad (7)$$

Bilans wymiennika W8:

$$D(i''_k - i'_{8-7}) - D_1(i''_k + i'_{8-7}) - D_{22}(i''_k + i'_{8-7}) - D_3(i''_k + i'_{8-7}) - D_{01}(i''_k + i'_{8-7}) +$$

$$+ D_4(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + D_5(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + D_6(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + D_7(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + D_8(i''_{8-s} - i''_{8-s}) = 0 \quad (8)$$

Bilans skraplacza:

$$D(-i''_k) + D_k i''_k + D_{11} i''_k + D_{22} i''_k + D_{33} i''_k + D_{01} i''_k + D_{41} i''_{8-s} + D_{51} i''_{8-s} + D_{61} i''_{8-s} + D_{71} i''_{8-s} + D_{81} i''_{8-s} + D_{02} i''_k + D_{wch1}(-\Delta_{wch1}) = 0 \quad (9)$$

Bilans skraplacza 2:

$$D_{02}(i''_{02} - i''_{ss}) + D_{wch2}(-\Delta_{wch2}) = 0 \quad (10)$$

Bilans odgazowywacza:

$$D(i'_{4-od} - i'_{od-3}) + D_1(i''_{3-od} - i'_{4-od}) + D_{22}(i''_{3-od} - i'_{4-od}) + D_{01}(i'_{01} - i'_{4-od}) + D_3(i''_{3-od} - i'_{4-od}) = 0 \quad (11)$$

Bilans przegrzewacza:

$$D(i'_p - i''_p) + D_1(-i'_p + i''_p) + D_1(-i'_p + i''_p) = 0 \quad (12)$$

Bilans turbiny:

$$D(i_1 + i''_p) + D_1(-i''_p - i'_1) + D_{22}(-i''_p - i'_2) + D_0 i'_o + D_3 i'_3 + D_{41} i'_4 + D_5 i'_5 + D_6 i'_6 + D_7 i'_7 + D_k i'_k = N_{el}/\eta_m \eta_g \quad (13)$$

Bilans turbopompy:

$$D_{02}(i'_{02} - i''_{02}) = N_{tp}/\eta_m \quad (14)$$

Bilans węzła 1:

$$D_2 = D_{21} + D_{22} \quad (15)$$

Bilans węzła 2:

$$D_0 = D_{01} + D_{02} \quad (17)$$

Bilans przepływu czynnika roboczego przez turbinę:

$$D - D_1 - D_2 - D_0 - D_3 - D_4 - D_5 - D_6 - D_7 - D_8 - D_k = 0 \quad (18)$$

gdzie: i_x – entalpie pary lub wody w poszczególnych punktach układu (kJ/kg), D_x – przepływy pary lub wody w poszczególnych punktach układu (kg/s), N_{el} – moc elektryczna generatora turbiny parowej (kW), N_{tp} – moc mechaniczna przekazywana pompie wody zasilającej (kW), η_m – sprawność mechaniczna turbopompy (–), η_g – sprawność generatora (–).

Na podstawie powyższych bilansów tworzy się układ równań, w których następnie podstawia się odpowiednio:

$$D = x_1, D_1 = x_2, D_2 = x_3, D_{21} = x_4, D_{22} = x_5, D_0 = x_6, D_{01} = x_7, D_{02} = x_8, D_3 = x_9,$$

$$D_4 = x_{10}, D_5 = x_{11}, D_6 = x_{12}, D_7 = x_{13}, D_8 = x_{14}, D_{wch1} = x_{15}, D_{wch2} = x_{16}, D_k = x_{17}$$

po uporządkowaniu tych równań możemy zauważyć, że mamy do rozwiązania układ równań z siedemnastoma niewiadomymi.

Układ równań zawierający równania bilansowe z podstawionymi wyrazami x_n :

$$x_1(i'_{2-1} - i_{wz}) + x_2(i'_{2-1} - i'_{2-1}) = 0 \quad (19)$$

$$x_1(i'_{3-2} - i'_{2-1}) + x_2(i''_{1-2} - i''_{2-3}) + x_5(i'_{22} - i''_{2-3}) = 0 \quad (20)$$

$$x_1(i'_{od-3} - i'_{3-2}) + x_2(i''_{2-3} - i''_{3-od}) + x_5(i''_{2-3} - i''_{3-od}) + x_9(i'_{3-od} - i''_{3-od}) = 0 \quad (21)$$

$$x_1(i'_{5-4} - i'_{4-od}) - x_2(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - x_5(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - x_9(i'_{5-4} + i'_{4-od}) - x_7(i'_{5-4} + i'_{4-od}) + x_{10}(i'_{4-od} - i''_{4-5}) = 0 \quad (22)$$

$$x_1(i'_{6-5} - i'_{5-4}) - x_2(i'_{6-5} + i'_{5-4}) - x_5(i'_{6-5} + i'_{5-4}) - x_9(i'_{6-5} + i'_{5-4}) -$$

$$x_7(i'_{6-5} + i'_{5-4}) + x_{10}(i''_{4-5} - i''_{5-6}) + x_{11}(i'_{5-6} - i''_{5-6}) = 0 \quad (23)$$

$$x_1(i'_{7-6} - i'_{6-5}) - x_2(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - x_5(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - x_9(i'_{7-6} + i'_{6-5}) - \\ x_7(i'_{7-6} + i'_{6-5}) + x_{10}(i''_{5-6} - i''_{6-7}) + x_{11}(i''_{5-6} - i''_{6-7}) + x_{12}(i'_{6-7} - i''_{6-7}) = 0 \quad (24)$$

$$x_1(i'_{8-7} - i'_{7-6}) - x_2(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - x_5(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - x_9(i'_{8-7} + i'_{7-6}) - \\ - x_7(i'_{8-7} + i'_{7-6}) + x_{10}(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + x_{11}(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + x_{12}(i''_{6-7} - i''_{7-8}) + \\ + x_{13}(i'_{7-8} - i''_{7-8}) = 0 \quad (25)$$

$$x_1(i''_k - i'_{8-7}) - x_2(i''_k + i'_{8-7}) - x_5(i''_k + i'_{8-7}) - x_9(i''_k + i'_{8-7}) - x_7(i''_k + i'_{8-7}) \\ + x_{10}(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + x_{11}(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + x_{12}(i''_{7-8} - i''_{8-s}) + x_{13}(i''_{7-8} - i''_{8-s}) \\ + x_{14}(i'_{8-8} - i''_{8-s}) = 0 \quad (26)$$

$$x_1(-i''_k) + x_{17}i''_k + x_2i''_k + x_5i''_k + x_9i''_k + x_7i''_k + x_{10}i''_{8-s} + x_{11}i''_{8-s} + x_{12}i''_{8-s} \\ + x_{13}i''_{8-s} + x_{14}i''_{8-s} + x_8i''_k + x_{15}(-\Delta_{wch1}) = 0 \quad (27)$$

$$x_8(i''_{02} - i''_{ss}) + x_{16}(-\Delta_{wch2}) = 0 \quad (28)$$

$$x_1(i'_{4-od} - i'_{od-3}) + x_2(i''_{3-od} - i'_{4-od}) + x_5(i''_{3-od} - i'_{4-od}) + \\ x_7(i'_{01} - i'_{4-od}) + x_9(i''_{3-od} - i'_{4-od}) = 0 \quad (29)$$

$$x_1(i'_p - i''_p) + x_2(-i'_p + i''_p) + x_5(-i'_p + i''_p) = 0 \quad (30)$$

$$x_1(i_1 + i''_p) + x_2(-i''_p - i'_1) + x_5(-i''_p - i'_2) + x_6i'_o + x_9i'_3 + x_{10}i'_4 + x_{11}i'_5 + \\ + x_{12}i'_6 + x_{13}i'_7 + x_{17}i''_k = N_{el}/\eta_m \eta_g \quad (31)$$

$$x_8(i'_{02} - i''_{02}) = N_{tp}/\eta_m \quad (32)$$

$$x_3 = x_4 + x_5 \quad (33)$$

$$x_6 = x_7 + x_8 \quad (34)$$

$$x_1 - x_2 - x_3 - x_6 - x_9 - x_{10} - x_{11} - x_{12} - x_{13} - x_{14} - x_{17} = 0 \quad (35)$$

W zapisie macierzowym możemy to przedstawić jako:

$$I * X = B \quad (36)$$

gdzie: I – macierz współczynników stojących przy niewiadomych, tzw. macierz układu, X – macierz kolumnowa niewiadomych, B – macierz kolumnowa wyrazów wolnych.

Tak stworzony model matematyczny pozwala na dalszą analizę termodynamiczną obiegu, w wyniku której otrzymano wartości przepływów w poszczególnych punktach obiegu (tabela 3).

Tabela 3. Parametry przepływu wody i pary w poszczególnych punktach obiegu bloku parowego 660 MW

Przepływ	Wartość (kg/s)	Przepływ	Wartość (kg/s)	Przepływ	Wartość (kg/s)
D	461,6	D ₀₁	29,7	D _{wch1}	15965,6
D ₁	28,3	D ₀₂	18,2	D _{wch2}	272,9
D ₂	433,3	D ₄	16,6	D _k	244,3
D ₂₁	395,2	D ₅	9,2		
D ₂₂	38,2	D ₆	12,6		
D ₃	14,1	D ₇	11,1		
D ₀	47,9	D ₈	10,7		

4. ANALIZA TERMODYNAMICZNA OBIEGU

W praktyce eksploatacji, z energetycznego punktu widzenia, bloki energetyczne charakteryzuje się zwykle za pomocą wskaźników techniczno-ekonomicznych, które możemy zdefiniować następująco:

Sprawność elektrowni brutto:

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{B_p Q_w} \quad (-) \quad (37)$$

Jednostkowe zużycie pary:

$$d = \frac{D \cdot 3,6}{N_{el}} \quad (t/MWh) \quad (38)$$

gdzie: D – natężenie przepływu pary (kg/s), N_{el} – moc elektryczna (MW).

Jednostkowe zużycie ciepła (energii chemicznej paliwa):

$$q = \frac{Q_p}{N_{el}} = \frac{B_p Q_w}{N_{el}} = b \cdot Q_w \quad (kW/kW) \quad (39)$$

gdzie: Q_p – strumień ciepła doprowadzony do kotła wraz z paliwem (kW), B_p – strumień paliwa doprowadzony do kotła (kg/s), Q_w – wartość opałowa paliwa (kJ/kg).

Jednostkowe zużycie wody chłodzącej:

$$d_{wch} = \frac{D_{wch} \cdot 3,6}{N_{el}} \quad (t/MWh) \quad (40)$$

Dla danych wyjściowych bloku energetycznego, na podstawie przeprowadzonej analizy, uzyskano następujące wartości współczynników (tabela 4).

Tabela 4. Wyniki obliczeń obiegu bloku parowego 660 MW

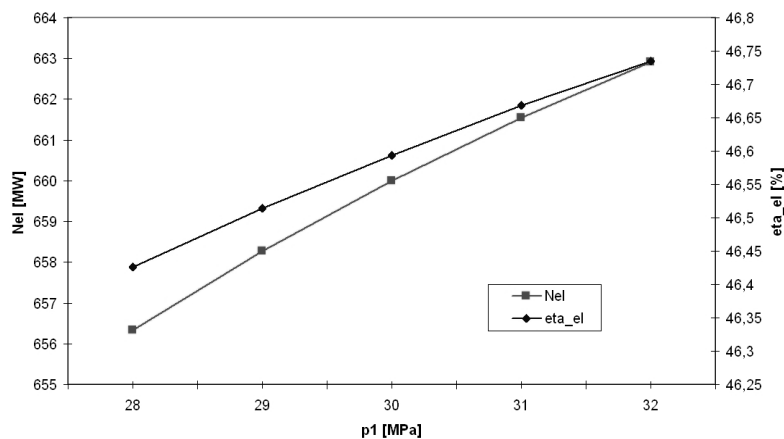
Parametr	Jednostka	Wartość
Moc elektryczna	MW	660
Jednostkowe zużycie pary	t/MWh	2,52
Jednostkowe zużycie wody chłodzącej	t/MWh	86,05
Sprawność elektrowni brutto	%	46,59

W kolejnej części analizy termodynamicznej bloku przeprowadzono symulacje wpływu zmian parametrów obiegu na wybrane wskaźniki energetyczne:

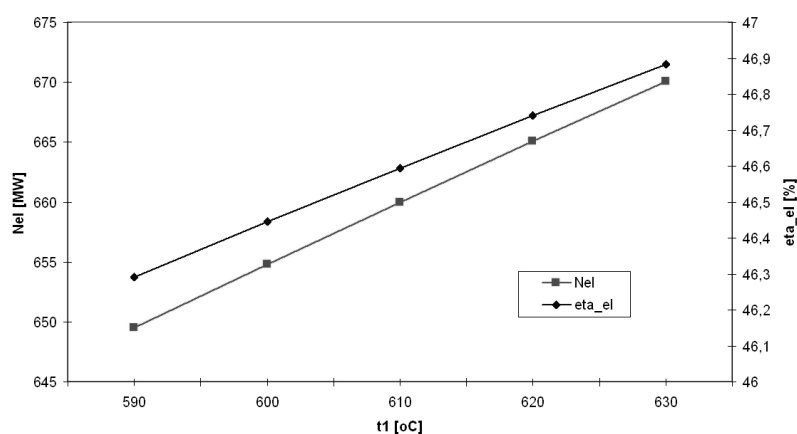
- a) wpływ zmian ciśnienia pary świeżej (parametry stałe: strumień pary świeżej $D = \text{idem}$, ciśnienie pary wtórnie przegrzanej $p_2 = \text{idem}$, temperatura pary świeżej $t_1 = \text{idem}$, temperatura pary wtórnie przegrzanej $t_2 = \text{idem}$, parametry zmienne: ciśnienie pary świeżej $p_1 = \text{var}$),

- b) wpływ zmian temperatury pary świeżej (parametry stałe: $D = \text{idem}$, $p_1 = \text{idem}$, $p_2 = \text{idem}$, $t_2 = \text{idem}$, parametry zmienne: $t_1 = \text{var}$),
 c) wpływ zmian ciśnienia pary wtórnie przegrzanej wpływ zmian ciśnienia pary świeżej (parametry stałe: $D = \text{idem}$, $p_1 = \text{idem}$, $t_1 = \text{idem}$, $t_2 = \text{idem}$, parametry zmienne: $p_2 = \text{var}$),
 d) wpływ zmian temperatury pary wtórnie przegrzanej (parametry stałe: $D = \text{idem}$, $p_1 = \text{idem}$, $p_2 = \text{idem}$, $t_1 = \text{idem}$, parametry zmienne: $t_2 = \text{var}$),
 e) wpływ zmian ciśnienia w skraplaczu wpływ zmian ciśnienia pary świeżej (parametry stałe: $D = \text{idem}$, $p_1 = \text{idem}$, $p_2 = \text{var}$, $t_1 = \text{idem}$, $t_2 = \text{idem}$, parametry zmienne: ciśnienie pary w skraplaczu $p_k = \text{var}$).

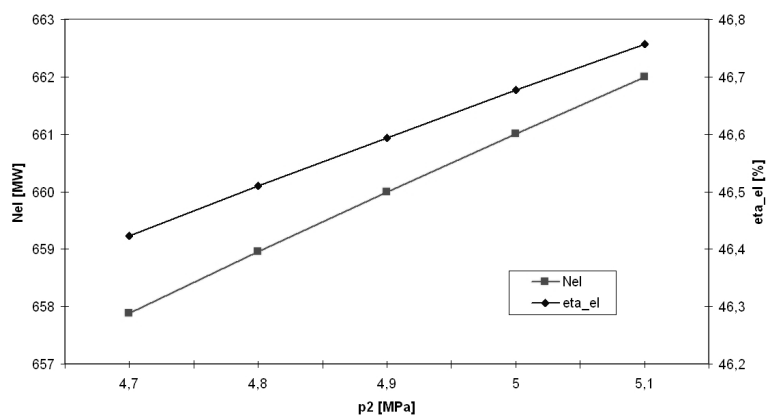
Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono w tabeli 5, a wybrane wielkości na wykresach (rys. 2–6).



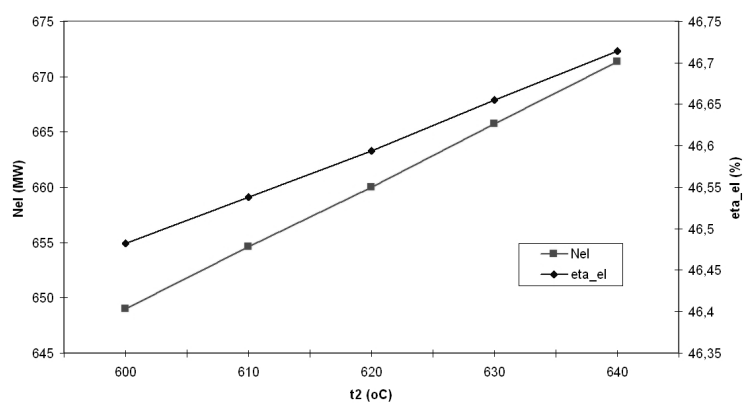
Rys. 2. Moc elektryczna oraz sprawność w funkcji zmian ciśnienia pary świeżej



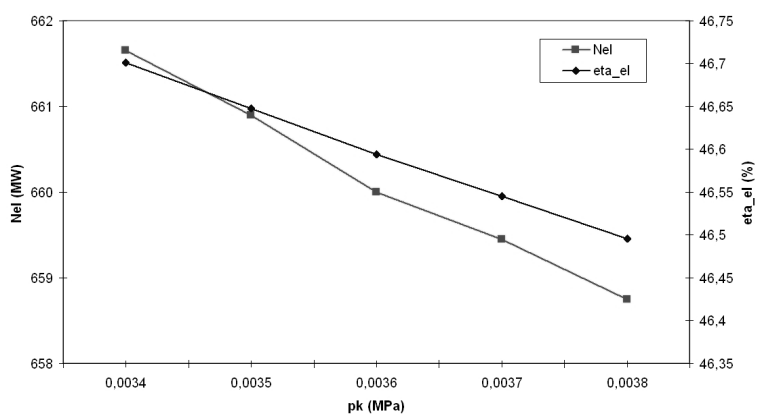
Rys. 3. Moc elektryczna oraz sprawność w funkcji zmian temperatury pary świeżej



Rys. 4. Moc elektryczna oraz sprawność w funkcji zmian ciśnienia pary wtórnie przegrzanej



Rys. 5. Moc elektryczna oraz sprawność w funkcji zmian temperatury pary wtórnie przegrzanej



Rys. 6. Moc elektryczna oraz sprawność w funkcji zmian ciśnienia w skraplaczu

Tabela 5. Wyniki obliczeń obiegu bloku parowego 660 MW

Zmienna	Wyniki				
p_1 (MPa)	N_{el}	D_{wch}	η_{el}	D	d_{wch}
	MW	kg/s	%	t/MWh	t/MWh
28	656,34	15806	46,426	2,534	86,70
29	658,27	15786	46,514	2,527	86,33
30	660,00	15776	46,594	2,520	86,05
31	661,54	15747	46,668	2,514	85,69
32	662,92	15728	46,735	2,509	85,41
t_1 (°C)					
590	649,49	15702	46,291	2,561	87,03
600	654,80	15735	46,445	2,540	86,51
610	660,00	15776	46,594	2,520	86,05
620	665,10	15797	46,740	2,501	85,50
630	670,08	15826	46,883	2,482	85,03
p_2 (MPa)					
4,7	657,88	15884	46,423	2,528	86,92
4,8	658,96	15805	46,510	2,524	86,35
4,9	660,00	15776	46,594	2,520	86,05
5,0	661,01	15728	46,677	2,516	85,66
5,1	662,00	15691	46,757	2,512	85,33
t_2 (°C)					
600	649,01	15566	46,482	2,563	86,34
610	654,62	15666	46,538	2,541	86,15
620	660,00	15776	46,594	2,520	86,05
630	665,75	15870	46,655	2,498	85,82
640	671,36	15971	46,714	2,477	85,64
p_k (MPa)					
0,0034	661,65	15729	46,701	2,514	85,58
0,0035	660,90	15750	46,648	2,517	85,79
0,0036	660,00	15776	46,594	2,520	86,05
0,0037	659,45	15789	46,545	2,522	86,19
0,0038	658,75	15807	46,496	2,525	86,38

5. PODSUMOWANIE

Układ cieplny wraz z podanymi wartościami parametrów pary i wody w charakterystycznych punktach oraz otrzymane w wyniku obliczenia układu cieplnego, wskaźniki opisujące układ, są podstawą oceny rozwiązania układu elektrowni. Na schemacie układu cieplnego opiera się także eksploatacja elektrowni, tj. kontrola procesu i ustalanie właściwych parametrów czynnika w poszczególnych punktach.

Na podstawie analizy danych można zauważyć, że wraz ze wzrostem ciśnienia i temperatury pary wzrastają sprawność elektrowni i moc elektryczna. Natomiast zmniejsza się jednostkowe zużycie pary i wody chłodzącej. Wraz ze zmniejszeniem się ciśnienia w skraplaczu sprawność i moc elektryczna rosną, natomiast jednostkowe zużycie pary i wody chłodzącej zmniejszają się.

Korzystając z przedstawionej w referacie biblioteki można w podobny sposób opisać inne układy technologiczne elektrowni parowych. Program ten pozwala również prześledzić wpływ zmian niektórych parametrów wejściowych układu parowego na sprawność ogólną elektrowni.

LITERATURA

- [1] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, WNT, Warszawa, 2012.
- [2] Kasztelewicz Z., Patyk M., *Nowoczesne i sprawne elektrownie węglowe strategicznym wyzwaniem dla Polski*, *Polityka energetyczna*, Tom 18, Zeszyt 4, 2015.
- [3] Malko J., Wojciechowski H., *Bloki na horyzoncie. Zmagania z progiem 50 % sprawności obiegu parowego Rankine'a*, *Energetyka Ciepła i Zawodowa*, nr 7–8/2012.
- [4] Pawlik M., Kotlicki T., *Innowacyjne technologie węglowe dla ograniczenia emisji CO₂*, *Rynek Energii*, nr 3/2011.
- [5] <http://www.cheresources.com/content/articles/physical-properties/thermodynamic-and-transport-properties-of-water-and-steam> (dostęp 10.01.2016r).
- [6] <http://www.spinvest.cz/en/files/Ledvice-EN.pdf> (dostęp 15.01.2016 r.).
- [7] <http://e2010.drustvo-termicara.com/resources/files/presentations/fiala.pdf> (dostęp 18.01.2016 r.).
- [8] http://www.doosan.com/skodapower/attach_files/brochure/english/en_products_service.pdf (Dostęp 15.01.2016 r.).

THE IMPACT OF CHANGES SELECTED PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM POWER PLANT ON OPERATING RATIOS

The paper presents the modeling of supercritical coal-fired power plant with a capacity of 660 MW. An analysis of thermodynamic unit and numerical simulations of plant operation for the rated conditions was presented. Model of power plant were implemented in excel with using libraries defining the parameters of water and steam. In the paper was determined the generation of power plant and the efficiency of electricity generation. In addition the paper analyzes the impact of changes of several parameters on selected operating parameters. The results of the performed analysis are presented in Tables and on Figures.

(Received: 24. 02. 2016, revised: 3. 03. 2016)