

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	15
-----------------	----

Część 1

STANY CIEPLNE I WYTRZYMAŁOŚCIOWE ELEMENTÓW TURBINY W WARUNKACH EKSPLOATACJI

*Andrzej Rusin, Grzegorz Nowak, Marian Lipka,
Henryk Łukowicz, Adam Zalewski*

Wprowadzenie	19
1.1. Stany naprężeń w wirniku turbiny podczas uruchomienia – wstępny dobór optymalnej charakterystyki rozruchowej	19
1.1.1. Uruchomienie z początkowego stanu zimnego ze średnią szybkością przyrostu temperatury pary pierwotnej $\Delta T/\Delta t = 4,0$ K/min	21
1.1.2. Uruchomienie z początkowego stanu zimnego ze średnią szybkością przyrostu temperatury pary pierwotnej $\Delta T/\Delta t = 1,5$ K/min	23
1.1.3. Uruchomienie z początkowego stanu zimnego ze średnią szybkością przyrostu temperatury pary pierwotnej $\Delta T/\Delta t = 3,0$ K/min oraz $\Delta T/\Delta t = 2,0$ K/min	23
1.1.4. Uruchomienie z początkowego stanu zimnego ze średnią szybkością przyrostu temperatury pary pierwotnej $\Delta T/\Delta t = 2,5$ K/min	25
1.1.5. Uruchomienie z początkowego stanu zimnego ze średnią prędkością przyrostu temperatury pary pierwotnej $\Delta T/\Delta t = 2,6$ K/min	26
1.2. Stany naprężeń w kadłubie turbiny podczas uruchomienia	29
1.3. Ocena możliwości redukcji naprężeń przez zmianę sposobu uruchomienia turbiny	35
1.4. Optymalizacja rozruchu turbiny	38
1.5. Identyfikacja obszarów zagrożonych pękaniem w wirniku i kadłubie turbiny	42
1.5.1. Analiza naprężeń w czasie uruchomienia turbiny	43
1.5.2. Analiza naprężeń w czasie odstawienia turbiny	46
1.5.3. Wpływ szoków termicznych na stan naprężenia w elementach turbin	53
1.6. Stan naprężenia w wirniku spawanym	66
1.6.1. Model obliczeniowy wirnika spawanego	66
1.6.2. Stany cieplne i wytrzymałościowe wirnika spawanego podczas rozruchu	68
1.7. Wyznaczanie naprężeń eksploatacyjnych w elementach turbin w trybie on-line	74
1.7.1. Algorytmy oparte na funkcji Greena i całce Duhamela	74
1.7.2. Algorytmy oparte na sieciach neuronowych	79

1.8. Podsumowanie analiz stanu wyężenia elementów turbiny	84
Bibliografia	85

Część 2

ANALIZA ZAGROŻEŃ EROZYJNYCH WSKUTEK EKSFOLIACJI TLENKÓW ŻELAZA W PRZEGRZEWACZACH PARY

*Marek Pronobis, Wacław Wojnar,
Bartłomiej Hernik, Robert Wejkowski*

2.1. Przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie eksfoliacji tlenków w przegrzewaczach kotłów	87
2.2. Model obliczeniowy erozji wskutek odwarstwiania tlenków z rur przegrzewaczy	93
2.3. Kinetyka narastania warstw tlenkowych w atmosferze pary wodnej	94
2.4. Przebieg procesu eksfoliacji zaobserwowany w kotłach na nadkrytyczne parametry pary	99
2.4.1. Dane na temat odwarstwiania tlenków z przegrzewaczy kotłów na nadkrytyczne parametry pary	99
2.4.2. Przebieg procesu eksfoliacji	101
2.5. Obliczenia masy odwarstwionych cząstek za pomocą modelu odwarstwiania dla warunków występujących w istniejących przegrzewaczach	103
2.5.1. „0”-wymiarowy model erozji i masa erodenta	103
2.5.2. Przykład obliczeniowy	111
2.6. Opracowanie algorytmów i modeli numerycznych dla wyznaczenia pól temperatur w poszczególnych elementach przegrzewaczy	113
2.6.1. Zagrożenia trwałości przegrzewaczy pary na parametry nadkrytyczne	113
2.6.2. Metodyka postępowania przy obliczaniu rozkładu obciążenia cieplnego na podstawie pomiaru pola temperatur spalin	115
2.6.3. Opracowanie modelu numerycznego do wyznaczania rozkładów temperatur	116
2.7. Modernizacja przegrzewacza pary pod kątem zminimalizowania rozrzutów temperatur pary	119
2.8. Numeryczne modelowanie erozji	124
2.8.1. Wprowadzenie	124
2.8.2. Model erozji zastosowany w kodzie Fluent	126
2.8.3. Przegląd innych modeli wykorzystywanych do obliczeń numerycznych tempa erozji	130
2.8.4. Eksperymentalne wyznaczanie współczynników restytucji erozji odwarstwionymi tlenkami żelaza i wstępny model numeryczny	133
2.8.5. Metodyka postępowania przyjęta przy obliczeniach	135
2.8.6. Modelowanie numeryczne odbicia cząstek erodenta od powierzchni	139

2.9. Numeryczne modelowanie szybkości erozji elementów kotłów i turbin odwarstwionymi tlenkami	141
2.9.1. Wprowadzenie	141
2.9.2. Model CFD zaworu	142
2.9.3. Model CFD kolanka rury	145
2.10. Opracowanie sposobów ograniczania zagrożeń eksfoliacyjnych	148
2.11. Analiza ekonomiczna kosztów wynikających z zagrożenia eksfoliacją	149
2.11.1. Wybór kotła do analizy ekonomicznej	149
2.11.2. Założenia przyjęte do analizy ekonomicznej zagrożenia związanego z eksfoliacją	150
2.11.3. Wyniki analizy ekonomicznej zagrożenia związanego z eksfoliacją ...	151
Bibliografia	153

Część 3

PRACA BLOKÓW 50+ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

3.1. Ocena efektu zmęczenia wału turbozespołu dużej mocy spowodowanego zakłóceniami w sieci elektroenergetycznej	158
<i>Józef Wiśniewski, Andrzej Wawszczak</i>	
3.1.1. Opracowanie modelu bloku referencyjnego	159
3.1.2. Parametry modelu	164
3.1.3. Obliczanie momentów skrętnych działających na wały turbozespołu	171
3.1.4. Obliczanie zmęczenia wałów turbozespołu spowodowanego zakłóceniami w sieci	175
3.1.5. Podsumowanie	182
3.2. Potrzeby własne bloku z instalacją CCS	183
<i>Janusz Buchta, Andrzej Oziemski</i>	
3.2.1. Potrzeby własne bloku referencyjnego	183
3.2.2. Model obiegu z wychwytem dwutlenku węgla	186
3.2.3. Potrzeby własne bloku z instalacją CCS	188
3.2.4. Zbiór zmiennych decyzyjnych procesu optymalizacji elektrycznego układu potrzeb własnych	192
3.2.5. Równania modelu optymalizacyjnego EUPW	195
3.2.6. Funkcja celu w optymalizacji EUPW	199
3.2.7. Obciążenia EUPW dla poszczególnych wariantów	202
3.2.8. Wyniki obliczeń optymalizacyjnych parametrów EUPW	204
3.2.9. Podsumowanie	206
3.3. Efektywność energetyczna w układach potrzeb własnych elektrowni	207
<i>Tomasz Kotlicki</i>	
3.3.1. Wstęp	207
3.3.2. Mierniki efektywności energetycznej	208
3.3.3. Analiza efektywności energetycznej regulacji wydajności wybranych urządzeń potrzeb własnych	213
3.3.4. Podsumowanie	232

3.4. Stany dynamiczne w układach potrzeb własnych elektrowni dużej mocy ..	234
<i>Janusz Buchta</i>	
3.4.1. Wstęp	234
3.4.2. Potrzeby własne bloku 858 MW	234
3.4.3. Przełączanie zasilania w rozdzielniach potrzeb własnych bloku 858 MW	235
3.4.4. Model matematyczny EUPW	237
3.4.5. Symulacja rozruchu największego silnika.....	242
3.4.6. Symulacja przełączenia zasilania rozdzielni przez automatykę SZR	244
3.4.7. Podsumowanie.....	248
3.5. Oddziaływanie przemienników częstotliwości na jakość energii elektrycznej w układzie potrzeb własnych elektrowni	249
<i>Ryszard Pawelek, Irena Wasiak</i>	
3.5.1. Wprowadzenie	249
3.5.2. Ocena jakości energii elektrycznej	251
3.5.3. Pomiary jakości energii elektrycznej w istniejącym układzie napędowym z przemiennikiem częstotliwości	255
3.5.4. Model symulacyjny układu napędowego z przemiennikiem częstotliwości.....	260
3.5.5. Badania symulacyjne jakości energii elektrycznej w układzie potrzeb własnych bloku 50+	263
3.5.6. Podsumowanie.....	267
Bibliografia	268

Część 4

SYSTEMY NADZORU EKSPLOATACJI BLOKÓW ENERGETYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM METODY RACHUNKU WYRÓWNAWCZEGO

Marcin Szega, Andrzej Ziębik, Grzegorz T. Nowak

Wprowadzenie.....	274
4.1. Uwiarygodnienie danych pomiarowych za pomocą rachunku wyrównawczego.....	277
4.1.1. Klasyfikacja zmiennych procesowych	278
4.1.2. Podstawy uwiarygodnienia pomiarów za pomocą rachunku wyrównawczego	281
4.1.3. Klasyczna metoda rachunku wyrównawczego.....	282
4.1.4. Uogólniona metoda rachunku wyrównawczego	285
4.1.5. Ocena dokładności danych pomiarowych i wielkości niemierzonych po uwiarygodnieniu	288
4.2. Kontrola dotrzymania założonej dokładności pomiarów oraz detekcja i identyfikacja błędów grubych w rachunku wyrównawczym	291
4.2.1. Analiza statystyczna niezgodności równań warunków	295
4.2.2. Analiza statystyczna poprawek wielkości pomiarowych.....	300
4.2.3. Przykład obliczeniowy	301

4.3. Dobór układu równań warunków zadania wyrównawczego dla układu cieplnego bloku energetycznego.....	308
4.3.1. Równania warunków procesu konwersji energii w turbinie parowej	312
4.3.2. Równania warunków dla regeneracyjnych wymienników ciepła	317
4.3.3. Oszacowanie wartości i ocena niepewności wielkości empirycznych w dodatkowych równaniach warunków	321
4.4. Metodyka uwiarygodnienia pomiarów pozyskiwanych z rozproszonego systemu sterowania bloku energetycznego	324
4.4.1. Identyfikacja okresów pracy ustalonej	326
4.4.2. Detekcja i identyfikacja błędów grubych pomiarów	330
4.4.3. Struktura obliczeń w systemie informatycznym	333
4.5. Optymalizacja lokalizacji nadmiarowych pomiarów w procesach cieplnych z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego	335
4.5.1. Dobór funkcji celu zadania optymalizacyjnego	337
4.5.2. Zastosowanie entropii informacji do oceny poprawy wiarygodności pomiarów po uwiarygodnieniu	340
4.5.3. Liczba konfiguracji lokalizacji nadmiarowych pomiarów	343
4.5.4. Algorytm optymalizacji lokalizacji nadmiarowych pomiarów	348
4.5.5. Optymalizacja lokalizacji nadmiarowych w warunkach zmiennego obciążenia bloku	351
4.6. Modelowanie matematyczne układu cieplnego bloku z separacją CO₂ ze spalin	356
4.6.1. Modelowanie procesów cieplnych za pomocą programu <i>Thermoflex</i>	357
4.6.2. Modelowanie instalacji usuwania CO ₂	358
4.6.3. Modelowanie układu cieplnego nadkrytycznego bloku energetycznego	366
4.7. Przykład obliczeniowy optymalizacji lokalizacji nadmiarowych pomiarów w układzie cieplnym bloku energetycznego	370
4.7.1. Opis układu cieplnego bloku	370
4.7.2. Równania warunków zadania wyrównawczego	371
4.7.3. Omówienie wyników obliczeń	373
4.8. Algorytm obliczeń eksploatacyjnych wskaźników energetycznych bloku ucieplnionego	380
4.8.1. Czynniki wpływające na eksploatacyjne wskaźniki energetyczne bloku ucieplnionego	380
4.8.2. Podstawowe wskaźniki bloku elektrowni ucieplnionej	382
4.8.3. Wskaźniki elektrowni ucieplnionej zintegrowanej z instalacją usuwania i sprężania CO ₂	386
Bibliografia	389

Część 5
NOWE TECHNIKI BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH
ELEMENTÓW TURBIN PAROWYCH

Wprowadzenie	395
5.1. Wykorzystanie własnego magnetycznego pola rozproszenia w diagnostyce elementów ferromagnetycznych	396
<i>Maciej Roskosz</i>	
5.1.1. Cel i zakres badań.....	397
5.1.2. Podstawy teoretyczne	397
5.1.3. Weryfikacja metodyki badań metodą MPM	401
5.1.4. Badania złączy spawanych	402
5.1.5. Badania elementów zespołów wirujących.....	403
5.1.6. Ocena stanu naprężeń i deformacji.....	404
5.2. Rozwój metodyki magnetycznej pamięci metalu	406
<i>Maciej Roskosz</i>	
5.2.1. Wpływ geometrii na sygnał diagnostyczny w metodzie magnetycznej pamięci metalu	406
5.2.2. Wpływ warunków magnetycznych w trakcie procesu obciążania na sygnał diagnostyczny w metodzie magnetycznej pamięci metalu	411
5.3. Wykorzystanie efektu Barkhausena w diagnostyce	416
<i>Maciej Roskosz, Krzysztof Fryczowski</i>	
5.3.1. Efekt Barkhausena	416
5.3.2. Wpływ naprężeń i odkształceń trwałych na połowy efekt Barkhausena ..	419
5.3.3. Ocena twardości	423
5.3.4. Analiza możliwości oceny procesu pełzania stali X12CrMoWVNbN10-1-1 na podstawie szumu Barkhausena	424
5.4. Metoda Small Punch Test (SPT) w badaniach własności stali	432
<i>Andrzej Rusin, Michał Bieniek, Adam Wojacek</i>	
5.4.1. Opis metody Small Punch Test (SPT).....	433
5.4.2. Kalibracja stanowiska.....	437
5.4.3. Symulacja procesu przetłaczania próbki	441
5.5. Wyznaczenie własności materiałowych stali energetycznych metodą SPT	447
<i>Andrzej Rusin, Michał Bieniek, Adam Wojacek</i>	
5.5.1. Zakres badań.....	447
5.5.2. Zasady analizy krzywej SPT oraz opracowywania zależności korelacyjnych.....	448
5.5.3. Wyznaczanie wielkości określanych za pomocą statycznej próby rozciągania.....	451
5.5.4. Wyznaczanie wielkości określanych za pomocą próby udarności.....	458
Bibliografia	462
Streszczenie	467