

AUTOREFERAT

Zwiększanie elastyczności kotłów parowych z obiegiem naturalnym

Dr inż. Piotr Dzierwa

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Krakowska
Al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków

1. Imię i nazwisko: Piotr Dzierwa
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2001 tytuł **magistra inżyniera** z dyscypliny naukowej Mechanika i Budowa Maszyn w zakresie specjalności **Mechanika Komputerowa**, Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Tytuł pracy magisterskiej: **Obliczenia wytrzymałościowe i optymalizacja płytow-wpustowego zamknięcia zbiornika gazu na przykładzie zamknięcia filtru gazu DN1400** (promotor Prof. dr hab. Inż. Jan Ryś).

2007 stopień naukowy **doktora nauk technicznych**, z dyscypliny naukowej Budowa i Eksploatacja Maszyn specjalność: Maszyny i Urządzenia Energetyczne uzyskany na Politechnice Krakowskiej, Wydział Mechaniczny Tytuł rozprawy doktorskiej: **Optymalizacja nagrzewania i ochładzania grubościennych elementów kotłów** (promotor Prof. dr hab. inż. Jan Taler),

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

od 2016 - adiunkt w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Krakowskiej

4. Wskazanie głównego osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 , poz 595 ze zm.)

- 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Zwiększanie elastyczności kotłów parowych z obiegiem naturalnym

- 4.2. Osiągnięcia naukowe – złożone z jednotematycznego cyklu publikacji naukowych, patentu oraz oryginalnego osiągnięcia technicznego:

- a) Monografia

[1.] P. Dzierwa (2015) *Increasing flexibility of steam boilers with natural circulation*, wydawnictwo naukowe Politechniki Krakowskiej 515, Kraków, 2016, liczba stron 167

- b) Artykuły z listy A MNiSW, tj., indeksowanych w Journal Citation Reports (lista filadelfijska)

[2.] J. Taler, B. Węglowski, D. Taler, T. Sobota., P. Dzierwa, M. Trojan, P. Madejski, M. Pilarczyk, Determination of start-up curves for a boiler with natural circulation based on the analysis of stress distribution in critical pressure components, *Energy* 92 (2015), pp. 153-159; liczba punktów wg MNiSW – 45, Impact Factor – 4.844

[3.] J. Taler, P. Dzierwa, D. Taler, P. Harchut, Optimization of the boiler start-up taking into account thermal stresses, *Energy* 92 (2015), pp. 160-170; liczba punktów wg MNiSW – 45, Impact Factor – 4.844

[4.] P. Dzierwa, J. Taler, Optimum heating of pressure vessels with holes, *ASME J. Pressure Vessel Technol*, 137, pp. 011202-1-8, 2014; liczba punktów wg MNiSW – 15, Impact Factor – 0.357

[5.] J. Taler, P. Dzierwa, A new method for optimum heating of steam boiler pressure components. *International Journal of Energy Research* 35 (2011), pp. 897-908; liczba punktów wg MNiSW – 40, Impact Factor – 2.418

- [6.] J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler, Optimum heating of pressure components of large steam boilers. Forschung im Ingenieurwesen (Engineering Research) (2009) 73, s. 183-192; liczba punktów wg MNiSW – 15, Impact Factor – 0.381
- [7.] **P. Dzierwa**, D. Taler, J. Taler, Optimum heating of cylindrical pressure vessels, Forschung im Ingenieurwesen (2015) 79:163–173; liczba punktów wg MNiSW – 15, Impact Factor – 0.381
- [8.] **P. Dzierwa**, Optimum heating of pressure components of steam boilers with regard to thermal stresses, Journal of Thermal Stresses, (2016) DOI: 01495739.2016.1189773, Volume 39, Issue 7, 2016, pages 874-886; liczba punktów wg MNiSW – 25, Impact Factor – 0.992

c) Referaty z konferencji ASME ujęte w Web of Science

- [9.] **P. Dzierwa**, D. Taler, J. Taler, M. Trojan, Optimum heating of thick wall pressure components of steam boilers, Proceedings of the ASME 2014 Power Conference, Technical Program Chair: Mike Smiarowski, POWER2014, July 28-31, Baltimore, Maryland, USA, 2014, 9 pages; liczba punktów wg MNiSW – 15 (B)
- [10.] J. Taler, **P. Dzierwa**., D. Taler, Determining optimum temperature changes during heating of pressure vessels with holes, Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference, PVP2013, July 14-18, 2013, Paris, France, PVP2013-98025, 8 pages; liczba punktów wg MNiSW – 15 (B)

d) Rozdziały w monografiach zagranicznych

- [11.] **P. Dzierwa**, Optimum heating of pressure components of complex shape, Chapter in: Encyclopedia of Thermal Stresses, Vol. VII, ed. by R. Hetnarski, Springer, pp. 3532-3543, Dordrecht– Heidelberg, 2013
- [12.] **P. Dzierwa**, Quasi-Steady-State Approach for Solving Transient Heat Conduction Problems, Chapter in: Encyclopedia of Thermal Stresses, Vol. VII, ed. Hetnarski R., Springer, pp. 4083-4092, Dordrecht– Heidelberg, 2013.

e) Rozdział w książce wydanej w kraju

- [13.] J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler., Optymalizacja nagrzewania i ochładzania grubościennych elementów kotłów, Rozdział 7 w książce Procesy cieplne i przepływowe w dużych kotłach energetycznych. Modelowanie i monitoring pod redakcją J. Talera, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011, 584-637

f) Projekty naukowo - badawcze

- [14.] JM-9/494/2013, Poprawa własności dynamicznych kotłów parowych – prace przygotowawcze dla EDF Rybnik”, data rozpoczęcia: 09.08.2013 data zakończenia: 07.02.2014, Zleceniodawca: Politechnika Wrocławska Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27.
- [15.] JM-9/238/2015/P, Poprawa elastyczności pracy parowych bloków energetycznych, data rozpoczęcia: 09.04.2015 data zakończenia: 30.09.2016, Zleceniodawca: EDF Polska S.A.

4.3. Omówienie prac wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego:

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy, wchodzący w skład głównego osiągnięcia naukowego, obejmuje:

- Monografię habilitacyjną
- 7 artykułów z listy A MNiSW, tj., indeksowanych w Journal Citation Reports (lista filadelfijska)
- 2 referaty z konferencji ASME ujęte w Web of Science
- 2 rozdziały w Encyclopedii of Thermal Stresses, wyd. Springer 2014
- jeden rozdział w monografii wydanej w kraju
- dwa projekty naukowo- badawcze realizowane na zlecenie EDF Polska S.A..

Główne osiągnięcie naukowe obejmuje następujące grupy tematyczne:

- a) Procedury do określania dopuszczalnej szybkości nagrzewania i ochładzania grubościennych elementów w oparciu o założenie osiowo symetrycznego quasi-stacjonarnego pola temperatury w elemencie ciśnieniowym.
- b) Opracowanie dwóch metod wyznaczania optymalnej temperatury czynnika, w którym naprężenia cieplne obliczane są za pomocą całki Duhamela. W metodzie pierwszej całkę Duhamela przybliżono metodą prostokątów, a optymalny przebieg temperatury wyznaczany jest sekwencyjnie. W metodzie drugiej optymalny przebieg temperatury przybliżany jest funkcją czasu, w której występują dwa lub trzy nieznane parametry. Parametry te wyznaczone są metodą najmniejszych kwadratów, tak aby naprężenia obliczane w punkcie leżącym na brzegu otworu były równe naprężeniom dopuszczalnym.
- c) Opracowanie nowej procedury wyznaczania dopuszczalnych szybkości zmian temperatury czynnika podczas nagrzewania i ochładzania elementów grubościennych kotłów nieosłabionych i osłabionych otworami.
- d) Opracowanie modelu matematycznego o parametrach skupionych oraz rozłożonych do modelowania napełniania parownika kotła gorącą wodą. Wyznaczenie optymalnej temperatury gorącej wody oraz optymalnej temperatury czynnika w parowniku podczas rozruchu kotła.
- e) Opracowanie metody szybkiego rozruchu kotła przy optymalnych czasowych zmianach temperatury czynnika w parowniku kotła.

Ad a) Dotychczas w Polsce nie zostały opracowane przepisy dotyczące optymalnego przeprowadzania procesu rozruchu i wyłączania z ruchu bloków energetycznych. W większości kotłów dopuszczalne szybkości określone są przez producenta kotła i podawane w instrukcji eksploatacji. Z reguły są to stałe wartości niezależne od charakteru zmian ciśnienia w czasie wewnątrz elementu grubościennego. Opracowałem nowe metody optymalnego przeprowadzania procesu nagrzewania lub ochładzania ścianek płaskich, cylindrycznych i kulistych. W technice kotłowej mamy do czynienia najczęściej z osłabionymi elementami cylindrycznymi i sferycznymi. Zastosowanie optymalnych przebiegów temperatury czynnika wyznaczonych dla elementów o kształtach prostych do nagrzewania lub ochładzania elementów o złożonych kształtach, jest obarczone zbyt dużymi błędami i może służyć wyłącznie do wstępnego oszacowania granicznych parametrów rozruchu czy wyłączenia z ruchu. Wyznaczane natomiast na podstawie niemieckich przepisów kotłowych TRD-301 lub normy europejskiej PN-EN 12952-3 dopuszczalne szybkości nagrzewania i ochładzania elementów bazują na trudnym do zrealizowania w praktyce założeniu quasi-stacjonarnego pola temperatur w ścianie elementu konstrukcyjnego. Z uwagi na zależność od czasu szybkości zmian temperatury czynnika mamy bardzo rzadko do czynienia z quasi- ustalonym polem temperatury. W pracach [1, 6, 7, 12, 13] zaprezentowane zostało wykorzystanie teorii stanu quasi-stacjonarnego dla elementów o prostych kształtach jak również dla elementów osłabionych otworami. Zaprezentowany został również sposób wyznaczania szybkości nagrzewania elementów ciśnieniowych w których występuje dwuwymiarowe quasi ustalone pole temperatury. Badania eksperymentalne pokazują, że w elementach poziomych, takich jak walczaki lub komory przegrzewaczy istnieją duże różnice temperatur na obwodzie elementów, które muszą być brane pod uwagę przy obliczaniu dopuszczalnej szybkości nagrzewania i ochładzania elementu ciśnieniowego. W czasie nagrzewania cylindrycznego elementu grubościennego z otworami z prędkością wyznaczoną według PN-EN 12952-3, na brzegu otworu, w punkcie leżącym w płaszczyźnie przekroju poprzecznego przechodzącej przez

oś otworu, przekraczane są naprężenia dopuszczalne [1]. Ponadto, zarówno w przepisach TRD 301 jak i w normie PN-EN 12952-3 zakłada się, że w elemencie grubościennym istnieje quasi-stacjonarny rozkład temperatury, który w elemencie cylindrycznym powstaje po dłuższym czasie jego nagrzewania ze stałą prędkością. W rzeczywistości stan taki ustala się w ścianie elementu ciśnieniowego dopiero po 20-30 minutach nagrzewania go ze stałą szybkością. W monografii [1] przeprowadzono analizę pola temperatury i naprężeń w walczaku kotła w stanie quasi-stacjonarnym, biorąc pod uwagę różne współczynniki wnikania ciepła na wewnętrznej powierzchni walczaka, w obszarze wody i pary. Opracowana została metoda nagrzewania walczaka z uwagi na maksymalne sumaryczne naprężenia obwodowe na brzegu otworu z uwzględnieniem różnicy temperatury na obwodzie walczaka. Przedstawiona metoda może być zastosowana do określenia dopuszczalnej szybkości nagrzewania walczaka. Niemieckie przepisy kotłowe TRD 301 umożliwiają wyznaczenie dopuszczalnych szybkości nagrzewania i ochładzania elementów ciśnieniowych kotłów dla kilku wybranych kształtów elementów konstrukcyjnych. Punkt kryterialny leży na wewnętrznej powierzchni otworu w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wzdłużną elementu ciśnieniowego i oś otworu. Dla elementów o złożonych kształtach, przy obliczaniu naprężeń pochodzących od ciśnienia, są wykorzystywane współczynniki koncentracji naprężeń, które pozwalają obliczyć maksymalną wartość tych naprężeń w miejscach ich koncentracji. W rzeczywistości wartość tych naprężeń jest zależna od rozwiązania konstrukcyjnego. Często okazuje się, że wartości współczynników koncentracji zaczerpnięte z przepisów TRD 301 lub z literatury odbiegają znacznie od wartości tych współczynników wyznaczonych Metodą Elementów Skończonych. Wyżej wymienione ograniczenia przepisów TRD-301 oraz normy PN-EN 12952-3 nie pozwalają obliczyć dopuszczalnych szybkości nagrzewania i ochładzania elementów grubościennych kotłów, przy których rzeczywiste naprężenia na brzegu otworu obliczone za pomocą MES nie przekraczają zadanych naprężeń dopuszczalnych.

Ad b) Przedstawione zostały dwa nowe sposoby wyznaczania optymalnej temperatury czynnika, w którym naprężenia cieplne na powierzchni elementu cylindrycznego obliczane są za pomocą całki Duhamela. Korzystając z opracowanej metody bazującej na całce Duhamela wyznaczone zostały optymalne krzywe nagrzewania elementów nieosłabionych otworami. W celu wyznaczenia zmian naprężeń cieplnych w wybranym punkcie elementu wywołanych zmianą temperatury czynnika w czasie, niezbędne jest wyznaczenie najpierw odpowiedzi elementu na jednostkowy skok temperatury płynu. Przebieg temperatury elementu ciśnieniowego wywołany jednostkową skokową zmianą temperatury czynnika nazywany jest funkcją wpływu. Optymalne zmiany temperatury czynnika zostały wyznaczone dla elementów cylindrycznych i sferycznych. Sumaryczne naprężenia obwodowe pochodzące od ciśnienia i obciążenia cieplnego wyznaczane są na powierzchni, dla której ich wartości bezwzględne są największe lub w miejscu koncentracji naprężeń, np. na krawędzi otworu. Analizowane były przypadki nagrzewania i ochładzania elementów kotłów parowych obciążonych ciśnieniem wewnętrznym, jak i w stanie bezciśnieniowym. Funkcje wpływu były wyznaczane zarówno za pomocą metod analitycznych ścisłych [5] jak i za pomocą metody elementów skończonych (MES) [1, 2, 4 – 6, 8]. W metodzie pierwszej całkę Duhamela przybliżono metodą prostokątów, a optymalny przebieg temperatury wyznaczany był sekwencyjnie z rozwiązania równania całkowego. Na początku nagrzewania temperatura czynnika jest bardzo wysoka, a następnie obniża się do temperatury minimalnej by następnie wzrastać prawie ze stałą szybkością. Taki przebieg nagrzewania elementu grubościennego trudno jest zrealizować w praktyce. Z tego względu w metodzie drugiej optymalny przebieg temperatury przybliżany jest z góry zadaną funkcją czasu, w której występują dwa lub trzy nieznane parametry. Parametry te wyznaczane są metodą najmniejszych kwadratów, tak aby naprężenia obliczane w punkcie leżącym na brzegu otworu były równe naprężeniom dopuszczalnym. Minimum sumy kwadratów wyznaczane jest za pomocą metody Levenberga-Marquardta. Przy aproksymacji optymalnego przebiegu temperatury za pomocą funkcji zawierającej trzy nieznane parametry, przebieg temperatury jest bardzo zbliżony do przebiegu otrzymanego w metodzie pierwszej [4]. Aby optymalny przebieg temperatury czynnika można było zrealizować w praktyce zaproponowano inną postać funkcji. Na początku temperatura czynnika zmienia się skokowo, a przy końcu nagrzewania następuje wzrost szybkości zmiany temperatury z uwagi na odciażające działanie ciśnienia [8].

Ad c) Przebieg temperatury wody w walczaku wyznaczony za pomocą całki Duhamel'a trudno jest zrealizować w praktyce. Z tego względu w pracach [1, 3, 4, 8-10] zaproponowano nowy sposób nagrzewania walczaka kotła, który umożliwia skrócenie czasu rozruchu kotła, przy zachowaniu warunku, że maksymalne naprężenia sumaryczne na brzegu otworu, naprężenia cieplne oraz naprężenia mechaniczne wywołane ciśnieniem wewnętrznym, nie przekraczają naprężeń maksymalnych. Nowy sposób nagrzewania polega na skokowym podwyższeniu temperatury wody na początku procesu nagrzewania w wyniku zalania walczaka gorącą wodą a następnie podwyższaniu temperatury czynnika w walczaku ze stałą prędkością. Nowy sposób nagrzewania i ochładzania elementów ciśnieniowych bloku energetycznego z uwagi na naprężenia cieplne, dopuszczający skokowe zmiany temperatury czynnika, był przedmiotem projektu badawczego [14, 15]. Optymalny przebieg temperatury aproksymowano w funkcji czasu za pomocą prostych funkcji, a występujące w nich nieznane parametry wyznaczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów, tak aby sumaryczne naprężenia obwodowe w miejscu ich koncentracji na brzegu otworu były równe naprężeniom dopuszczalnym. Metoda została zaprezentowana na konferencjach ASME PVP w Paryżu w 2013 roku oraz Power w Baltimore w 2014 roku. Opracowaną metodę optymalnego nagrzewania z uwzględnieniem skokowych zmian temperatury czynnika zastosowano do wyznaczania krzywych rozruchowych kotła o mocy 210 MW ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego [14]. Wyniki analiz opublikowane zostały w czasopiśmie [3].

Ad d) Temperatura wody doprowadzana przez dolne komory parownika zmienia się w czasie w taki sposób, że sumaryczne naprężenie obwodowe na brzegu otworu w połączeniu walczak – rura opadowa, pochodzące od ciśnienia i obciążenia cieplnego nie przekracza naprężenia dopuszczalnego [1, 3]. Uruchamianie kotła uwzględniające napełnianie walczaka gorącą wodą, jest bezpieczniejsze w porównaniu z przebiegiem rozruchu wyznaczonym na podstawie obowiązujących norm kotłowych. Poprzez skokowy wzrost temperatury czynnika na początku nagrzewania, walczak można następnie nagrzewać z mniejszą prędkością w porównaniu z prędkością wyznaczoną na podstawie norm kotłowych. W celu przyspieszenia rozruchu kotła, w szczególności ze stanu zimnego, parownik kotła może być na początku rozruchu zalewany gorącą wodą. Temperatura początkowa wody podawanej do parownika kotła przez dolne komory ekranów komory paleniskowej kotła wyznaczona została z warunku równości naprężeń dopuszczalnych i obwodowych naprężeń cieplnych na brzegu otworu pod rurę opadową. Woda podawana do parownika przez dolne komory przepływa równolegle przez ściany komory paleniskowej i rury opadowe. Poziom wody w rurach ekranowych i opadowych jest taki sam. W czasie przepływu wody z komór do walczaka następuje jej schładzanie. W przypadku rur ekranowych chłodzone są one powietrzem przepływającym przez komorę paleniskową. Część ciepła przejmują rury ekranowe w wyniku podgrzewania ścianek rur. W przypadku rur opadowych, izolowanych cieplnie na zewnętrznych powierzchniach, ciepło odbierane od wody zużywane jest na podgrzewanie metalu rur. Opracowany został model matematyczny opisujący schładzanie wody w rurach ekranowych (wznoszących) oraz rurach opadowych, umożliwiający wyznaczanie czasowego przebiegu temperatury wody na wlocie do walczaka przy zadanym przebiegu czasowym temperatury wody na wlocie do dolnych komór. Przedstawione zostały dwa modele matematyczne nagrzewania parownika gorącą wodą, pierwszy o parametrach skupionych oraz drugi o parametrach rozłożonych. Gorąca woda potrzebna do napełnienia parownika kotła może być dostarczana ze zbiornika wody zasilającej z innego pracującego kotła lub z zasobnika gorącej wody. Przedstawiony model dynamiki parownika kotła może być stosowany do wyznaczenia strumienia ciepła przepływającego od spalin w komorze paleniskowej do parownika kotła, niezbędnego do nagrzewania kotła z optymalną szybkością zmiany temperatury czynnika w parowniku kotła. Zaprezentowany model matematyczny parownika został porównany z zweryfikowany za pomocą porównania z danymi doświadczalnymi. Za pomocą modelu matematycznego opisującego wymianę ciepła w komorze paleniskowej wyznaczono optymalny strumień masy oraz zużycie paliwa. Aby zminimalizować zużycie drogiego paliwa, zaproponowano zalewanie walczaka gorącą wodą na początku procesu rozruchu. Ponadto, strumień przepływu masy pary z parownika musi być utrzymywany na minimalnym poziomie, w celu uniknięcia przegrzewania rur przegrzewacza.

Ad e) Nagrzewanie parownika przeprowadzone zostanie w dwóch fazach. Najpierw rury ekranowe, rury opadowe i walczak napełniane będą wodą, która doprowadzana jest do parownika poprzez dolne komory

parownika [1]. Następnie po nagrzeniu walczaka kotła do temperatury początkowej włączane są palniki olejowe i dalsze nagrzewanie parownika odbywa się tak, aby temperatura wody i pary w parowniku zmieniała się w czasie zgodnie z optymalnym przebiegiem temperatury wyznaczonym dla walczaka. Najpierw wyznaczono optymalny przebieg temperatury i ciśnienia czynnika w walczaku kotła stosując opracowaną metodę wyznaczania krzywych rozruchowych (ad c). Zaproponowany został sposób wykorzystania zasobników gorącej wody o dużej pojemności. Dzięki zasobnikowi ciepła można podnieść moc maksymalną bloku oraz obniżyć moc minimalną (minimum techniczne kotła). W czasie rozruchu kotła ze stanu zimnego lub ciepłego parownik kotła zasilany będzie gorącą wodą z górnej części zasobnika, a zimna lub ciepła woda z kotła doprowadzana będzie do dolnej części zasobnika. W okresie zmniejszonego zapotrzebowania na energię elektryczną, np. w tzw. dolinie nocnej, zasobnik napełniany będzie gorącą wodą, dzięki czemu zmniejszona będzie moc elektryczna bloku, co jest bardzo korzystne, gdyż w tym okresie brak jest zapotrzebowania na energię elektryczną. Korzystanie z proponowanej metody pozwala na znaczne skrócenie czasu rozruchu [1, 3]. Realizacji optymalnego rozruchu pozwala poprawić elastyczność całego bloku parowego.

Monografia habilitacyjna jest rozszerzeniem i podsumowaniem najważniejszych publikacji habilitanta. Omówiono w niej szczegółowo przeprowadzone analizy numeryczne i badania.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych – badawczych

5.1. Publikacje naukowe

Habilitant jest autorem 1 monografii oraz współautorem 55 prac naukowo-badawczych w tym: publikacji z listy filadelfijskiej o sumarycznym wskaźniku Impact Factor **15.271**, Impact Factor-5-letni **16.625**, 5 rozdziałów w monografiach zagranicznych wydawnictw w tym:

- 2 rozdziałów w Encyclopedii Thermal Stresses wydawnictwa Springer

5.1.1. Statystyka publikacji

Podsumowanie publikacji naukowo-badawczych habilitanta

Okres doktoratu :

Prace związane z moim doktoratem pt. „Optymalizacja nagrzewania i ochładzania grubościennych elementów kotłów” wykonywałem w latach 2002 – 2007. W pracy doktorskiej zaproponowałem nową metodę wyznaczania krzywych rozruchowych i odstawiania dla grubościennych elementów kotłów. Proponowana metoda pozwala prowadzić rozruch i odstawianie tak, aby sumaryczne naprężenia cieplne oraz pochodzące od ciśnienia nie przekraczały zadanych wartości dopuszczalnych naprężeń. W pracy wykorzystano zarówno programy komercyjne takie jak: ANSYS Mechanical, jak również własne kody obliczeniowe MES oraz autorskie narzędzia optymalizacyjne. Zaproponowana procedura wyznaczania optymalnych przebiegów temperatury czynnika w czasie nagrzewania i ochładzania walczaka lub innych elementów ciśnieniowych kotła, umożliwia szybki i bezpieczny rozruch lub wyłączenie kotła z ruchu. Przedstawiona metoda wyznaczania dopuszczalnych zmian temperatury czynnika w czasie rozruchu i wyłączania kotła z ruchu, może być zastosowana w praktyce. Umożliwia ona skrócenie czasu rozruchu kotła oraz zmniejszenie strat rozruchowych, gdyż na początku procesu nagrzewania elementu ciśnieniowego dopuszczalny jest skokowy wzrost temperatury czynnika. Wartość skoku temperaturowego wyznaczana jest z ilorazu naprężeń dopuszczalnych i minimalnej wartości tzw. funkcji wpływu. Należy przy tym podkreślić, że sumaryczne naprężenia obwodowe w żadnym punkcie na krawędzi otworu na wewnętrznej powierzchni walczaka lub innego elementu cylindrycznego nie

przekraczają wartości dopuszczalnej. Metodę można zastosować dla dowolnych elementów o dowolnych kształtach ze względu na wykorzystanie do analizy metody elementów skończonych.

Okres po doktoracie:

W pracy doktorskiej przede wszystkim skupiłem się na analizach sprzężonych cieplno -wytrzymałościowych pojedynczych elementów konstrukcyjnych kotłów. Główny nacisk położony został na obliczenia wytrzymałościowe grubościennych elementów kotłów o prostych i złożonych kształtach. Prace wykonywane przeze mnie w okresie po ukończeniu doktoratu skupiły się przede wszystkim na zaproponowaniu algorytmu poprawy własności dynamicznych kotłów parowych pod kątem ich pracy w systemie energetycznym, w tym w szczególności:

- Propozycja nowej metody optymalnego nagrzewania grubościennych elementów kotłów o złożonych kształtach z uwagi na sumaryczne naprężenia obwodowe na brzegu otworu. Zaproponowano trzy różne funkcje przybliżające optymalne zmiany temperatury czynnika. Nieznane parametry występujące w tych funkcjach wyznaczano z warunku minimum sumy kwadratów różnic naprężeń dopuszczalnych i obliczonych w kilkudziesięciu wybranych punktach czasowych. Minimum sumy kwadratów wyznaczono metodą Levenberga – Marquardta. Opracowana metoda zastosowana została między innymi do wyznaczania optymalnych przebiegów temperatury czynnika w czasie rozruchu kotła parowego nadkrytycznego o mocy elektrycznej bloku równej 910 MW. Przeprowadziłem szczegółową analizę wytrzymałościową dwóch elementów krytycznych: komory wylotowej pary przegrzanej oraz trójkąta w stanach nieustalonych za pomocą MES (metoda elementów skończonych). Należy podkreślić że jest to największy blok energetyczny budowany w Polsce. Zaproponowaną metodę zastosowano również do wyznaczenia krzywych rozruchowych w czasie przyspieszonego rozruchu bloku.
- Opracowanie metody do wyznaczania szybkości nagrzewania i ochładzania poziomych grubościennych elementów kotłów z uwzględnieniem różnic temperatury na grubości i obwodzie elementu. i
- Opracowanie modelu matematycznego o parametrach skupionych oraz rozłożonych do modelowania napełniania parownika kotła gorącą wodą. Model matematyczny nagrzewania parownika kotła poprzez jego zalenie gorącą wodą obejmuje model matematyczny parownika o parametrach rozłożonych oraz nową metodę wyznaczania optymalnego przebiegu temperatury na wlocie do parownika. Model ten umożliwia wyznaczenie czasowych i przestrzennych zmian temperatury wody przepływającej w rurach ekranowych oraz powietrza przepływającego od dołu do góry w komorze paleniskowej.
- Opracowanie metody szybkiego rozruchu kotła przy optymalnych czasowych zmianach temperatury czynnika w parowniku kotła. Wyznaczony został optymalny przebieg temperatury wody podawanej do dolnych komór ekranów kotła tak aby naprężenia na brzegach otworów w walcu kotła nie przekraczały naprężeń dopuszczalnych.
- Analizie możliwości przyspieszenia rozruchu i wyłączania z ruchu bloku energetycznego. Krzywe rozruchowe tj. przebiegi ciśnienia i temperatury wyznaczone zostały z wykorzystaniem zaproponowanej przeze mnie metody. Przeprowadzone dla bloku energetycznego o mocy 206MW analizy pokazują, że czas rozruchu bloku może być skrócony ponad 2 krotnie.
- Analizie możliwości przeprowadzenia zmian w technologii rozruchu i ewentualnych zmian konstrukcyjnych kotła, umożliwiających skrócenie czasu rozruchu i zmniejszenie zużycia mazutu bez zmniejszania trwałości elementów kotła. Zaproponowana została nowa technologia rozruchu z wykorzystaniem ciśnieniowego zasobnika wody.

- Propozycja zastosowania ciśnieniowych zasobników gorącej wody do poprawy elastyczności bloków parowych. Dzięki instalacji tych zasobników można zwiększyć moc bloku o około 7% w czasie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną oraz zmniejszyć jego moc o około 15% w czasie tzw. doliny nocnej lub w ciągu dnia przy zwiększonym zapotrzebowaniu energii elektrycznej na klimatyzację w czasie letnich upałów.

Uczestniczyłem w projekcie, budowie i wdrażaniu komputerowego układu do monitorowania parametrów przepływowo – cieplnych i wytrzymałościowych dużych kotłów parowych. Zaprojektowałem i przeprowadziłem obliczenia wytrzymałościowe wstawek pomiarowych na potrzeby systemów monitorowania zanieczyszczenia komory paleniskowej i przegrzewaczy.

Tabela 1 Wykaz osiągnięć naukowych przed i po okresie doktoratu

	Łącznie	Przed doktoratem	Po doktoracie
Sumaryczna liczba punktów MNiSW	486	23	466
Sumaryczny IF	15,271	0,653	14,618
Sumaryczny IF-5	16,625	0,485	16,14
Publikacje ogółem:	56	7	49
Publikacje z listy A MNiSW	11	1	10
Publikacje z listy B MNiSW	9	0	9
Monografie	1	0	1
Rozdziały w monografiach:	15	1	14
Rozdziały monografiach w języku polskim	10	1	9
Rozdziały monografiach w języku angielskim	5	0	5
Publikacje w materiałach konferencyjnych:	19	5	14
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku angielskim	12	2	10
Publikacje w materiałach konferencyjnych w języku polskim	7	3	4
Rozprawa doktorska	1	1	0
Udział w konferencjach:	24	6	18
Konferencje krajowe	11	4	7
Konferencje zagraniczne	13	2	11
	0		
Projekty badawcze ogółem (kierowane)	17(0)	0(0)	17(0)
Zgłoszenia patentowe	0	0	0

Cytowania prac naukowych:

Statystyka cytowania prac wg. bazy Publish or Perish (Google Scholar)

Publikacje indeksowane: 49 (<https://scholar.google.pl/citations?user=W43KHCIAAA&hl=pl>)

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie	Od 2010
<u>Cytowania</u>	101	86
<u>h-indeks</u>	5	5
<u>i10-indeks</u>	4	4

Statystyka cytowania prac wg. bazy Scopus:

(https://www.scopus.com/cto2/main.uri?origin=resultslist&stateKey=CTOF_701850814)

Publikacje indeksowane: 14

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie	Od 2010
<u>Cytowania</u>	18	16
<u>h-indeks</u>	3	3

Statystyka cytowania prac wg. bazy Web of Science:

(http://apps.webofknowledge.com/summary.do?product=WOS&parentProduct=WOS&search_mode=CitationReport&parentQid=8&qid=9&SID=V1YoM55KPnEfPwucj2v&page=2)

Publikacje indeksowane: 12

<u>Indeksy cytowań</u>	Wszystkie	Od 2010
<u>Cytowania</u>	10	10
<u>h-indeks</u>	2	2

5.3. Udział w konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych

Konferencje zagraniczne:

1. TS 2005, The Sixth International Congress on Thermal Stresses, Wiedeń, Austria, 26-29 Maja, 2005, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler, Determining optimum temperature changes during heating and cooling of thick-walled components (**before PhD**)
2. Kraftwerksbetrieb Unter Künftigen Rahmenbedingungen, Dresden, Niemcy, 2006, Referat: 57. J. Taler, **P. Dzierwa**, Proposition of new rules for determining allowable medium temperature rate during heating and cooling of steam boiler components (**before PhD**)
3. TS 2007, The Secenth International Congress on Thermal Stresses, Taipei, Taiwan, 3-7 Czerwca, 2007, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, A new method for determining allowable medium temperature rates during heating and cooling of thick-walled boiler components
4. TS 2009, The Eighth International Congress on Thermal Stresses, Urbana-Champaign, USA, 1-4 Czerwca, 2009, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler, A new method of determining the allowable fluid temperatures changes during heating and cooling of thick walled steam boiler components

5. TS 2011, The Ninth International Congress on Thermal Stresses, Budapeszt, Węgry, 5-9 Czerwca, 2011, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler, Determination of allowable heating and cooling rates of boiler pressure elements using the quasi-steady state approach
6. TS 2013, The Tenth International Congress on Thermal Stresses, Nanjing, Chiny, 31 Maja - 4 Czerwca, 2013, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, Optimum Temperature Changes During Heating of Pressure Components with Holes
7. TS 2016, The 11th International Congress on Thermal Stresses, Salerno, Włochy, 5 – 9 Czerwca, Referat: **P. Dzierwa**, D. Taler, J. Taler, Optimum heating of the boiler evaporator with thick-walled drum
8. EngOpt 2008, International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Brazylia, 1-6 Czerwca, 2008, Referat: J. Taler, D. Taler, **P. Dzierwa**, Optimum Heating of Pressure Components of Large Steam Boilers
9. EngOpt 2014, 4th International Conference on Engineering Optimization, Lizbona, Portugalia, 8 – 11 Września, 2014, Referat: J. Taler, D. Taler, **P. Dzierwa**, P. Harchut, Optimum Heating of the Boiler Evaporator Taking into Account Thermal Stresses
10. PVP 2013, ASME 2013 Pressure Vessels and Piping Conference, Paryż, Francja, 14-18 Lipca, 2013, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, D. Taler, Determining optimum temperature changes during heating of pressure vessels with holes
11. POWER 2014, ASME 2014 Power Conference, Baltimore, USA, 28-31 Lipca, 2014, Referat: 1) **P. Dzierwa**, D. Taler, J. Taler, M. Trojan, Optimum heating of thick wall pressure components of steam boilers, 2) M. Trojan, D. Taler, J. Taler, **P. Dzierwa**, Modeling of superheater operation in a steam boiler
12. 6th International Conference Inverse Problems: Modeling and Simulation, Antalya, Turkey, 21-26 Maja, 2012, Referat: **P. Dzierwa**, J. Taler, D. Taler: Time optimum temperature changes during heating of thick wall components with complex shape
13. Power & Energy 2016-59082, ASME 2016, Charlotte, USA, 26-30 Czerwca, Referat: J. Taler, B. Węglowski, T. Sobota, D. Taler, M. Trojan, **P. Dzierwa**, M. Jaremiewicz, M. Pilarczyk, Thermal Performance and Stress Monitoring of Power Boiler

Konferencje krajowe:

1. XV Krajowa Konferencja Mechaniki Płynów, Oficyna Wydawnicza PW, Augustów 2002, Referat: K. Rup, **P. Dzierwa**, Ł. Malinowski, Efekt profilu prędkości płynu na przejście laminarno-turbulentne w początkowym odcinku rury
2. XVIII Konferencja Termodynamików Muszyna 2002, Referat: K. Rup, **P. Dzierwa**, Ł. Malinowski, Oddziaływanie profilu prędkości płynu na wymianę ciepła w obszarze wlotowym
3. VII Konferencja Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej, Warszawa 6 - 9 Grudnia 2005, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, Wyznaczanie dopuszczalnych szybkości nagrzewania i ochładzania ciśnieniowych elementów kotłów

4. Międzynarodowa X Konferencja Kotłowa, Gliwice, 2006, Referat: J. Taler, **P. Dzierwa**, Propozycja przepisów wyznaczania dopuszczalnych zmian temperatury czynnika roboczego w czasie nagrzewania i ochładzania grubościennych elementów ciśnieniowych
5. Forum Energetyków, GRE 2012, Referat: **P. Dzierwa**, J. Taler, Optymalizacja nagrzewania grubościennych elementów ciśnieniowych z otworami
6. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna Energetyka 2012, Wrocław, 7-9 listopada 2012, Referat: **P. Dzierwa**, J. Taler, Optimum heating of cylindrical pressure components weakened by holes,
7. XIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej GRE2012, Szczyrk, 2012, Referat: **P. Dzierwa**, J. Taler: Optymalizacja nagrzewania grubościennych elementów ciśnieniowych z otworami,
8. Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne 2013, Kraków, 15-18 Październik 2013, Referat: 1) J. Taler, **P. Dzierwa**, M. Trojan: Projektowanie, eksploatacja i monitorowanie kotłów o parametrach nadkrytycznych; 2) J. Taler, B. Węglowski, **P. Dzierwa**, P. Czupryński, P. Madejski, D. Nabagło, C. Żyrkowski, Analysis of potential possibilities for improving dynamic properties of the boiler op-380 using on-line monitoring of thermal stresses
9. Międzynarodowa XII Konferencja Kotłowa ICBT 2014, Aktualne Problemy Budowy i Eksploatacji Kotłów, Polska, Szczyrk, CKiR Orle Gniazdo, 21-24 października 2014, Referat: 1) J. Taler., **P. Dzierwa**, D. Taler, P. Harchut, Optymalizacja rozruchu kotła z uwzględnieniem naprężeń cieplnych; 2) J. Taler, B. Węglowski, D. Taler, P. Madejski, **P. Dzierwa**, M. Trojan, T. Sobota, M. Pilarczyk, Determination of start-up curves for a boiler with natural circulation based on the analysis of stress distribution in critical pressure components
10. Konferencja Energetyka 2014, Wrocław 2014, Referat: J. Taler, B. Węglowski, D. Taler, M. Trojan, T. Sobota, **P. Dzierwa**, M. Pilarczyk, P. Czupryński, T. Janda, P. Madejski, D. Nabagło, Thermo-flow and strength monitoring of a PC boiler,
11. IX International Conference on Computational Heat and Mass Transfer, ICCHMT2016, Kraków 2016, Referat: 1) **P. Dzierwa**, D. Taler, M. Trojan, K. Kamińska, J. Taler, Optimum heating of thick-walled pressure components assuming a quasi-steady state of temperature distribution; 2) **P. Dzierwa**, D. Taler, M. Trojan, J. Taler, Optimum heating of boiler evaporator

5.2. Recenzje artykułów w czasopismach z ministerialnej listy A:

5.3. Kierowanie lub udział w grantach i projektach badawczych

Projekty badawcze finansowane przez koncerny zagraniczne działające w Polsce:

1. Projekt badawczy „The system for monitoring the fouling of the boiler furnace chamber, superheaters, reheaters, and other heating surfaces (FOULING INSPECTOR)” („System monitorowania zanieczyszczenia komory paleniskowej, przegrzewaczy i innych powierzchni ogrzewalnych w kotle (FOULING INSPECTOR’’)), projekt finansowany przez EDF (Électricité de France), Politechnika Krakowska, Umowa nr M-9/491/2012/P, czas realizacji: 11.09.2012 - 30.12.2013 – wykonawca

2. Projekt badawczy „Improving dynamic properties of steam boilers” („Poprawa własności dynamicznych kotłów parowych”), projekt finansowany przez EDF (Électricité de France), Politechnika Krakowska, Umowa nr M9/492/2012, czas realizacji: 21.09.2012 - 30.06.2014 – wykonawca
3. Projekt badawczy „Improving dynamic properties of steam boilers - preliminary study” („Poprawa własności dynamicznych kotłów parowych - prace przygotowawcze”) - prace przygotowawcze dla EDF Rybnik”, projekt finansowany przez EDF (Électricité de France), Politechnika Krakowska, Umowa nr M9/494/2013, czas realizacji: 09.08.2013 - 07.02.2014 – wykonawca
4. Projekt badawczy „Installation of thermal-flow and strength performance monitoring system for the steam boiler operation and for accelerated start-ups and steady-state operation as well as conducting trial shortened start-ups” („Instalacja układu bezpiecznej eksploatacji kotłów parowych w warunkach przyspieszonych rozruchów i ustalonej pracy kotła oraz przeprowadzenie próbnych przyspieszonych rozruchów kotła energetycznego”), projekt finansowany przez EDF (Électricité de France), Politechnika Krakowska, Umowa nr M-9/492/2015/P, czas realizacji: 13.07.2015 - 30.09.2016 – wykonawca
5. Projekt badawczy „Flexibility increasing of steam power blocks” („Poprawa elastyczności pracy parowych bloków energetycznych”), projekt finansowany przez EDF (Électricité de France), Politechnika Krakowska, Umowa nr M-9/238/2015/P, czas realizacji: 09.04.2015- - 30.09.2016 – wykonawca
6. Projekt badawczy nr 0540/R/T02/2007/03 (umowa nr M-5/612/R/2007) „Nowy sposób nagrzewania i ochładzania elementów ciśnieniowych bloku energetycznego z uwagi na naprężenia cieplne”, projekt finansowany przez KBN, czas realizacji: 2007-2010 – wykonawca
7. Projekt badawczy zamawiany nr PBZ-MEiN-4/2/2006 (decyzja nr G 005/T02/2007), „Nadkrytyczne bloki węglowe”, projekt finansowany przez KBN, czas realizacji: 20.04.2007 - 19.04.2010 – wykonawca
8. Projekt badawczy rozwojowy nr NR07-0046-10/2010 (0946/R/T02/2010/10) „Systemy do oceny materiałów konstrukcyjnych urządzeń pracujących w warunkach zmiennych obciążeń i w wysokich temperaturach”, projekt finansowany przez KBN, czas realizacji: 01.10.2010 - 30.09.2012 – wykonawca
9. Projekt badawczy nr N N513 332538 (3325/B/T02/2010/38) „Dynamika układu: kocioł na biopaliwo-kolektory słoneczne - zasobniki ciepłej wody użytkowej”, projekt finansowany przez NCN, czas realizacji: 13.04.2010 - 12.04.2013 – wykonawca
10. Projekt badawczy nr NR15 0060-10/2011 (1083/R/T02/2010/10) „Ocena zachowania się i prognoza długotrwałej pracy stali nowych generacji na elementy kotłów eksploatowanych powyżej temperatury granicznej”, projekt finansowany przez KBN, czas realizacji: 03.03.2011 - 31.10.2013 – wykonawca

11. Projekt badawczy strategiczny nr SP/E/1/67484/10 „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych zero-emisyjnych bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin” realizowanego w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, projekt finansowany przez NCBiR, czas realizacji: 01.05.2010 - 30.04.2015 – wykonawca
12. Projekt badawczy nr N N513 323940 (3239/B/T02/2011/40) „Nowa metoda rozruchu kotła walczkowego”, projekt finansowany przez KBN-NCN, czas realizacji: 15.04.2011 - 14.04.2014 – wykonawca
13. Projekt badawczy stosowany nr PBS1/A4/4/2012 „Opracowanie nowoczesnych metod oceny trwałości resztkowej elementów ciśnieniowych instalacji energetycznych”, projekt finansowany przez NCBiR, czas realizacji: 01.11.2012 - 31.10.2015 – wykonawca

Prace badawcze i wdrożeniowe realizowane na zlecenie przemysłu

Prace realizowane dla koncernów zagranicznych

14. Umowa nr M-9/459/2009/P, „Heat flux measurement on the control rod surface” („Analiza gęstości strumienia ciepła na powierzchniach prętów sterujących”), praca badawcza realizowana na zlecenie Forsmark Nuclear Power Plant, Vattenfall AB, Sweden, czas realizacji: 01.08.2009 - 01.08.2010 – wykonawca
15. Umowa nr M-9/58/2011/P, „Design and manufacturing of measuring inserts and software for determination of heat flux and temperature measurement on the insert outer surface” („Wykonanie wstawek pomiarowych oraz oprogramowania do wyznaczenia wartości gęstości strumienia ciepła na powierzchniach zewnętrznych badanych wstawek”), praca badawcza realizowana na zlecenie Forsmark Nuclear Power Plant, Vattenfall AB, Sweden, czas realizacji: 01.09.2010 - 01.07.2011 – wykonawca

Prace realizowane dla polskich przedsiębiorstw

16. Umowa nr M-9/520/12/P „Ocena stopnia zużycia rur ekranowych z uwagi na współspalanie biomasy agro i leśnej i głównie peletu z łuski słonecznika, peletu z drzewa i otrębów”, praca badawcza wykonana dla elektrowni Skawina S.A., czas realizacji: 2012 – wykonawca
17. Umowa nr M-9/354/2015/P „Możliwość pracy kotła K4 i K3 do lokalizacji EDF Kraków i kotła K3 dla lokalizacji kogeneracja Wrocław w przypadku niezakończenia remontu instalacji okołokotłowych w powiązaniu/odniesieniu do prowadzenia robót remontowych przez Użytkownika będący poza zakresem kontraktu deNOx realizowanych przez konsorcjum Fortun-Instal Kraków S.A”, czas realizacji: 2015 – wykonawca

5.4. Współpraca krajowa i międzynarodowa

Współpraca z przemysłem:

Firmy z branży energetycznej

- EDF Polska: (udział w trzech projektach dotyczących poprawy elastyczności bloków energetycznych, monitorowania elementów instalacji energetycznych oraz poprawy własności dynamicznych kotłów parowych),
- Forsmark (udział w jednym projekcie dotyczącym opracowania oprogramowania do obliczeń gęstości strumienia ciepła na powierzchni zewnętrznej wstawek pomiarowych),

5.5. Nagrody i odznaczenia :

1. Nagroda zespołowa Rektora Politechniki Krakowskiej za osiągnięcia naukowe w 2015 roku

6. Omówienie osiągnięć organizacyjnych i dydaktycznych

6.1. Osiągnięcia organizacyjne

Organizacja współpracy zagranicznej

- I. Jestem współinicjatorem współpracy Instytutu Maszyn I Urządzeń Energetycznych z następującymi ośrodkami naukowymi z zagranicy:
 1. Technische Universitaet Braunschweig (Niemcy)
 2. Technische Universitaet Bergakademie Freiberg (Niemcy)
 3. Uniwersytet w Calgary (Kanada)
 4. Velammal College of Engineering and Technology (Indie)
 5. Sardar – Rządowy Instytut Technologiczny w Surat (Indie)
 6. Uniwersytet w Shizuoka (Japonia)

6.2. Osiągnięcia dydaktyczne

Prowadziłem następujące kursy i szkolenia:

1. Mechanika płynów (laboratorium)
2. Metody numeryczne (wykłady, laboratoria komputerowe)
3. Metody programowania w obliczeniach naukowych i inżynierskich (laboratorium komputerowe)
4. Komputerowe modelowanie układów energetycznych (wykłady, projekt)
5. Modelowanie za pomocą systemu ANSYS (laboratoria komputerowe)
6. Monitorowanie maszyn i urządzeń energetycznych (laboratorium)
7. Modelowanie CFD (laboratorium komputerowe)
8. Szkolenia z MES (w ramach programu Kapitał Ludzki)



Podpis wnioskodawcy