

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Martyny Tomali

pt.: Dobór sposobów eksploatacji oraz planowanie badań diagnostycznych elementów turbin pracujących w elastycznych warunkach pracy w oparciu o analizę ryzyka.

Recenzja opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej (pismo nr RIE-BD.512.42.2022)

1. Ocena zasadności podjęcia tematu

W chwili obecnej energetykę krajową czeka szereg wyzwań po wprowadzaniu obostrzeń i dodatkowych obowiązków wynikających z dyrektyw IED (Industrial Emissions Directive) i EU ETS (wspólnotowy rynek uprawnień do emisji dwutlenku węgla) a zwłaszcza dyrektywy RED II promującej odnawialne źródła energii i odchodzenie od paliw kopalnych. W ostatnich latach obserwuje się coraz większy udział odnawialnych źródeł energii, zmieniających krajowy rynek energii. W lipcu b.r. łączna moc zainstalowana wszystkich źródeł energii elektrycznej w Polsce wyniosła 58,4 GW, w tym 20,3 GW to odnawialne źródła energii (t.j. 34,8%). W stosunku do roku ubiegłego największą dynamikę obserwuje się w fotowoltaice – 187,6% (10 586,2 MW) i elektrowniach wiatrowych 111,3% (7521,0 MW) a więc w źródłach charakteryzujących się dużą niestabilnością produkcji energii elektrycznej. W związku z tym niedobory energii lub jej nadmiar muszą przejmować jednostki wytwórcze centralnie dysponowane (JWCD) oparte głównie na spalaniu paliw kopalnych. Konsekwencją są częste postoje, rozruchy, wyłączanie z ruchu lub obniżanie mocy bloków energetycznych do minimum technicznego. Podczas rozruchów, zwłaszcza ze stanu zimnego, obserwuje się duże różnice temperatury w ścianach elementów krytycznych, generujące wysokie wartości naprężeń cieplnych. W przypadku turbin mogą występować przekroczenia naprężeń dopuszczalnych, deformacje i trwałe odkształcenia czy redukcje luzów technologicznych, zwłaszcza że procesy nagrzewania wirnika i elementów kadłubów wykazują duże różnice. Częste odstawienia i szybkie uruchomienia powodują wzrost tempa propagacji pęknięć i zużycia zmęczeniowego. Konsekwencją jest szybsze zużycie elementów turbin, zwiększenie ryzyka uszkodzeń, liczby

awaryjnych wyłączeń turbin/bloków energetycznych oraz długotrwałych kosztownych remontów.

Problemy te zostały dostrzeżone przez Autorkę i dobrze opisane w pierwszych rozdziałach dysertacji. Uważam, że **podjęcie tematyki związanej z eksploatacją diagnostyką turbin pracujących w zmiennych warunkach pracy przez Panią mgr inż. Martynę Tomalę jest jak najbardziej aktualne i uzasadnione.**

2. Przegląd rozprawy

Recenzowana praca Pani mgr inż. Martyny Tomali, dotycząca opracowania i doboru sposobów eksploatacji oraz planowaniu badań diagnostycznych elementów turbin parowych pracujących ze zmiennym obciążeniem w oparciu o analizę ryzyka, **mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.**

Praca została napisana na 192 stronach i zawiera 169 rysunków oraz 24 tabele. Podzielona została na 8 głównych rozdziałów z podrozdziałami. Ponadto zawiera streszczenie w j. polskim i angielskim, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i bibliografię (134 pozycje literaturowe).

W pierwszych trzech rozdziałach Autorka obszernie scharakteryzowała stan krajowej energetyki oraz problemy eksploatacyjne bloków energetycznych (w tym turbin parowych) wynikające z trwającej obecnie transformacji systemu tj. zastępowania bloków opartych na paliwie konwencjonalnym źródłami odnawialnej energii o niskich współczynnikach dyspozycyjności.

We wstępie (Rozdział 1) dokładnie została przedstawiona w ujęciu tabelarycznym i graficznym aktualna struktura, uzyskiwane moce i charakterystyka pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. W jednym z podrozdziałów (1.3) scharakteryzowano przegląd literatury dotyczący eksploatacji konwencjonalnych bloków węglowych pracujących w zmiennych warunkach obciążeń ze szczególnym uwzględnieniem wpływu na zużycie elementów turbin.

Ponadto w podrozdziale 1.2 można znaleźć solidną argumentację o ważności problemu i umotywowanie podjęcia decyzji o kierunku prowadzenia prac badawczych.

W podrozdziale 1.4. znajduje się **sformułowanie celu pracy** jakim jest dobór sposobów eksploatacji oraz planowania badań diagnostycznych turbin pracujących w blokach klasy 200 MW, co w połączeniu ze zdaniem „Przyczyni się to do zwiększenia bezpieczeństwa i obniżenia ryzyka ich dalszej eksploatacji w perspektywie kilkunastu lat pracy bloków jako źródeł bilansujących niedobory mocy w systemach energetycznych o dużym i ciągle rosnącym udziale niesterowalnych źródeł odnawialnych.” można uznać za główną tezę pracy. W tym podrozdziale Autorka podała również zakres prowadzonych prac i badań.

Charakterystykę pracy bloków energetycznych wraz z zestawieniem jednostek wytwórczych (JWCD) w trybie regulacyjnym przedstawiono w rozdziale drugim. Omówiona została praca bloków energetycznych w stanach niestacjonarnych tj. podczas rozruchów ze stanów zimnego, ciepłego i gorącego, ze szczególnym zwróceniem uwagi na wprowadzanie turbin parowych do ruchu.

Rozdział trzeci zawiera wprowadzenie w zagadnienia awaryjności i problemy eksploatacyjne turbin parowych w którym Autorka omawia najczęstsze przyczyny uszkodzeń turbozespołu oraz podstawowe wskaźniki do oceny niezawodności bloków tj. wskaźnik dyspozycyjności AF i wskaźnik awaryjności FOR.

Kolejny rozdział (4) zawiera opis modelowania propagacji pęknięć w warunkach zmęczenia i pełzania, gdzie dla liniowego charakteru prędkości pęknięcia w zależności od współczynnika intensywności naprężeń (wzór Paris'a) wyznaczone zostały wymiary pęknięcia, przy czym uwzględniono propagację w warunkach zmęczenia i pełzania. Podane zostały wzory na obliczenie prawdopodobieństwa zniszczenia elementu ciśnieniowego na skutek pęknięcia w odniesieniu do wymiaru krytycznego pęknięcia. Na podstawie obliczeń MES dla zbudowanego modelu wirników części WP i SP wyznaczono miejsca koncentracji naprężeń podczas rozruchów ze stanu zimnego zgodnych z zaleceniami producenta. W obliczeniach naprężeń w warunkach pełzania wykorzystano funkcję Nortona. Zaproponowano trzy scenariusze eksploatacji turbiny. W dwóch przyjęto maksymalne dopuszczalne naprężenia na poziomie 200MPa i 300 MPa w trzecim wartości pośrednie 200-300MPa. Zakładając początkową wartość pęknięcia (2, 3, 4 i 5 mm) i 20-letni czas eksploatacji obliczono propagację pęknięć w wirnikach WP i SP turbiny dla poszczególnych scenariuszy oraz wykonano obliczenia prawdopodobieństwa zniszczenia na skutek propagacji pęknięcia a wyniki zestawiono na rys. 4.14 - 4.22. Rozdział kończą wyniki prawdopodobieństwa zniszczenia ze względu na ubytek trwałości od zmęczenia i pełzania obliczonej na podstawie hipotezy liniowej kumulacji uszkodzeń dla przyjętych dwóch scenariuszy rozruchu turbiny.

Optymalizacji procesów rozruchu turbiny są tematem rozdziału 5. Funkcją celu jest minimalny czas wprowadzenia turbiny do ruchu, tak aby maksymalne naprężenia w rowku cieplnym uszczelnienia tj. w miejscu koncentracji naprężeń, nie przekraczały wartości dopuszczalnej przyjętej na poziomie 250 MPa. Wynik optymalnego przebiegu rozruchu ze stanu zimnego, skrócony o ponad 57% przedstawiono graficznie (rys. 5.3). Wyznaczanie temperatury, zmodyfikowanej na podstawie obliczeń MES o współczynnik korekcyjny k , i naprężeń w wybranych elementach turbin oparto na funkcji wpływu Green'a, indywidualnej dla konkretnego przedziału czasowego rozruchu o podobnych wartościach współczynnika wnikania ciepła. Zastosowanie metody do monitorowania pracy turbiny parowej bloku 200 MW opisane zostało w obszernym podrozdziale 5.4. Dla wyznaczonych metodą elementów skończonych (MES) punktów o największej koncentracji naprężeń tj. dla wirnika WP i SP -obszar rowka termicznego i otworu centralnego, dla punktu wewnętrznego kadłuba w miejscu wlotu pary oraz dla punktu położonego na zewnętrznej powierzchni zaworu odcinającego, wyznaczono funkcje Green'a i przeprowadzono obliczenia naprężeń dla rozruchów ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego. Obliczone naprężenia porównano z wynikami obliczeń uzyskanych metodą elementów skończonych (MES) uzyskując bardzo dobrą zgodność potwierdzającą skuteczność opracowanej metody do kontroli elementów turbiny w trybie on-line. Rozdział kończą zagadnienia związane z monitorowaniem stopnia zużycia elementów turbin. Przeprowadzono obliczenia propagacji pęknięcia w otworze centralnym wirnika wykorzystując metodę spadającego deszczu dla wyznaczenia liczby cykli zmęczeniowych. Przedstawiono także zmianę zużycia od zmęczenia i pełzania dla obszaru rowków cieplnych. W procesie optymalizacji wykorzystano metody opisane w rozdziale 5.1 i 5.2, gdzie zmienną w przypadku minimalizacji czasu nagrzewania jest szybkość nagrzewania będąca pochodną temperatury po czasie, tak aby nie były przekraczane naprężenia dopuszczalne. Podane zostały wzory na naprężenia dopuszczalne oraz temperaturę pary omywającej wirnik oraz przedstawiony schemat obliczeń od pomiarów do wyznaczenia aktualnej wartości naprężeń. Przeprowadzone zostały obliczenia w-g podanych na rysunkach 5.65 i 5.73 schematów optymalizacji szybkości nagrzewania odpowiednio dla obszaru I (otwór centralny wirnika dla trzech wartości naprężeń dopuszczalnych tj. 250, 220 i 190 MPa, oraz obszaru II (rowki cieplne) dla trzech wartości naprężeń dopuszczalnych tj. 380, 340 i 300 MPa, uzyskując wyraźne przyspieszenie rozruchu turbiny przy zachowaniu zadanego poziomu naprężeń.

Kolejnym rozdziałem jest rozdział 6 „Charakterystyka gospodarki diagnostyczno remontowej”, w którym omówione zostały stosowane modele obsługi turbiny oraz zakresy badań diagnostycznych poawaryjnych oraz kontrolnych nieniszczących i niszczących, przeprowadzanych w celu określenia aktualnego stanu materiału elementów turbiny. Spośród metod diagnostycznych najwięcej uwagi poświęcono na badania własności mechanicznych metodą SPT (small puch test). W podrozdziale 6.3 przedstawione zostały wyniki badań próbek stali 23H2MF pochodzących z wirnika turbiny 13K215 po przepracowaniu 200 000 godzin. Dla próbek wyciętych w kierunku promieniowym i obwodowym wyznaczona została temperatura przejścia krucho-plastycznego za pomocą młota Charpy’ego i metodą SPT. Rozdział kończą zalecenia dotyczące utrzymania prawidłowego stanu turbiny.

Opracowanie ogólnej strategii eksploatacji i obsługi w oparciu o analizę ryzyka opisane zostało w rozdziale 7. Rozdział podzielony został na kilka części. Na początku omówione zostały niezbędne czynności kontrolne i diagnostyczne elementów monitorowanych, których przeprowadzenie jest podstawą oszacowania procesu degradacji materiału elementów turbin, pozwalające na usunięcie ewentualnych uszkodzeń oraz na zaplanowanie terminu przyszłych kontroli i ich prawidłowego zakresu. Pomocne w tym zakresie jest planowanie w oparciu o analizę ryzyka. Pokazano to na podstawie analizy ryzyka przeprowadzonej dla wirnika WP turbiny parowej, korzystając z obliczonego w rozdz. 4 prawdopodobieństwa awarii związanej z kruchym pękaniem, (rys.7.1) wraz z uzupełnieniem o okresy remontowe (rys.7.2). Analizę efektywności techniczno-ekonomicznej przeprowadzono w oparciu o wskaźnik wartości zaktualizowanej (bieżącej) netto (NPV-Net Present Value) pomniejszając korzyści wynikające z uniknięcia awarii o koszty diagnostyki i napraw oraz straty związane z ryzykiem awarii w okresach przed i po inspekcjach. Pokazano to na podstawie obliczeń wskaźnika NPV dla wirnika WP dla kilku wcześniej przyjętych scenariuszy eksploatacji i awarii na skutek propagacji pęknięcia o różnej długości początkowej oraz na skutek zużycia zmęczeniowo-pełzaniowego dla różnych stanów zużycia początkowego. Pozwoliło to na określenie optymalnych czasów inspekcji dla każdego z przyjętych scenariuszy eksploatacji i stanu początkowego materiału elementu turbiny. Podobne obliczenia wykonane zostały dla analizy zbiorczej krytycznych miejsc z uwzględnieniem kilku wariantów awarii poprzez modyfikację wzoru na NPV (7.4). Wyniki w formie graficznej przedstawiono na rys. 7.5 i 7.6 odpowiednio dla wirnika WP i wirnika SP oraz łączną dla różnych scenariuszy na rys. 7.7 dla wirników WP i SP. Na podstawie przeprowadzonej analizy wrażliwości dla wskaźnika NPV dla WP i SP pokazano (rys.7.8) pokazano wpływ poszczególnych parametrów na wartość NPV oraz wykazano, że nie wpływa to na określenie optymalnego czasu badań.

Opisane w pracy modele, analizy, opracowane algorytmy i metodyka diagnostyczna posłużyły do opracowania ogólnej strategii eksploatacji obsługi turbin parowych (rys.7.9). Zgodnie z zaproponowanym tokiem postępowania opracowane zostały algorytmy dla krótkotrwałej (rys. 7.13) i długotrwałej eksploatacji turbin. W pierwszym przypadku przyjęto okres 13-letni i założono 200 rozruchów/rok w tym 25% rozruchów szybkich przy niskim ryzyku wystąpienia awarii na poziomie 0,001. Dla naprężeń obwodowych 220 i 250 MPa policzone zostały propagacja pęknięć i prawdopodobieństwo uszkodzenia wirnika w założonym okresie eksploatacji (rys.7.10) oraz dla naprężeń zredukowanych (optymalizowany rozruch, rys.7.12) na poziomie 400, 420, 450 MPa, zużycie i prawdopodobieństwo uszkodzenia wirnika dla stanu początkowego $Z_0=0$. Podobne obliczenia wykonane zostały dla zużycia $Z_0=0,5$ z założeniem, że turbina nie będzie pracować w systemie regulacji a naprężenia dopuszczalne (rys.7.15) nie przekroczą 210 MPa. Algorytm eksploatacji i obsługi przedstawiono na rys. 7.16. Dla przyjętego zerowego zużycia na początku okresu 20-letniej eksploatacji obliczony został wskaźnik NPV, który dla zmiennych parametrów pokazany został na rys.7. 17. Sugerowany okres podjęcia działań prewencyjnych wynosi 15 lat.

Podobne obliczenia wykonane zostały dla stanu $Z_0=0,5$ a odpowiednie algorytmy strategii eksploatacji dla obu stanów początkowych na rysunkach 7.18 i 7.20.

Pracę kończy rozdział w którym Autorka podsumowuje wyniki badań i analiz oraz przedstawia wnioski.

3. Dostrzeżone nieścisłości

Str. 35, Rys. 2.3, Można oznaczyć rysunki jako a) i b) i w podpisie wyjaśnić do którego turbozespołu się odnoszą.

Str. 35, Rys.2.4, Można oznaczyć rysunki jako a) i b) i uzupełnić opis.

Str.48, Rys. 2.15, Wiadomo co przedstawia rysunek ale dla porządku można wstawić legendę lub uzupełnić podpis pod rysunkiem.

Str. 61, Rys. 4.1, Na rysunku przedstawiona została prędkość propagacji pęknięcia dl/dN , natomiast w podpisie jest „Prędkość propagacji naprężeń.....”

Str. 68, Rys. 4.9, brak legendy utrudnia zidentyfikowanie krzywych przedstawionych na rysunku.

Str. 69, Rys. 4.10, brak legendy utrudnia zidentyfikowanie krzywych przedstawionych na rysunku.

4. Uwagi dyskusyjne

1. Na stronie 88 Autorka stwierdza, że „Czas wytrzymania nagrzewania t_p nie ma wpływu na maksymalną wartość naprężeń i może zostać skrócony z 80 min do nawet 7 min. Analiza naprężeń pokazanych na rys.5.4 wskazuje na obniżenie naprężeń w okresie przystanku temperaturowego 360 °C (rys. 5.3). W okresie tym następuje wyrównanie temperatur w materiale, więc naprężenia termiczne pochodzące od różnicy temperatury maleją.
2. Na stronie 95 Autorka proponuje „*Aby uniknąć potencjalnego zaniżenia obliczonej wartości, co mogłoby stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy turbiny, możliwe jest wprowadzenie do algorytmu współczynnika skalującego $k_s > 1$, który może dodatkowo podwyższyć wyznaczone naprężenia zredukowane σ_{red} . Operator korzystający z systemu monitorowania, może wówczas zareagować wcześniej na niepokojący wzrost naprężeń, aby uniknąć przekroczenia wartości dopuszczalnych.*”

Jakie mogą być przyczyny „*potencjalnego zaniżenia obliczonej wartości*”? Po wprowadzeniu w tym miejscu współczynnika korygującego dysponowalibyśmy zafałszowanymi wynikami wyznaczanych naprężeń, które autorka w dalszej części wykorzystuje do oceny zużycia. Zwykle wartości dopuszczalnych naprężeń obliczane są z odpowiednimi współczynnikami bezpieczeństwa więc nie ma potrzeby zmieniać wartości „pomiarowych”. Systemy monitorowania wykorzystywane w elektrowniach umożliwiają zadanie nawet kilku wartości niższych od progowych, których przekroczenie system może sygnalizować. Autorka zna ten problem bo w rozdziale o optymalizacji 5.6.1. (str. 127) proponuje „*Aby zwiększyć poziom bezpieczeństwa eksploatacji turbiny, podczas korzystania z przedstawionego algorytmu optymalizacji, naprężenie dopuszczalne wprowadzane do systemu może być pomniejszone względem oczekiwanego, poprzez ponowne wykorzystanie współczynnika skalującego k_s , który tym razem powinien spełniać warunek $k_s < 1$.*” Zawężenie przedziału pomiędzy zwiększonym naprężeniem obliczonym czyli „od góry” i pomniejszoną wartością naprężeń dopuszczalnym czyli „od

dołu”, może skutkować zbyt dużym zawężeniem przedziału naprężeń dopuszczalnych systemu monitorowania.

3. Na rysunku 5.62 pokazane zostały naprężenia o wartościach dodatnich, czyli należy sądzić, że są to naprężenia zredukowane, które posłużyły (Tabela 5.9) do zliczenia cykli obciążeń. Nie oddaje to charakteru zmian naprężeń, które mogą mieć wartości ujemne w warstwie nagrzewanej. Podczas cyklicznej pracy elementów turbiny (temperatura i ciśnienie zmienne w czasie), zakres naprężeń w osłabionych otworach elementach ciśnieniowych można zdefiniować jako różnicę naprężenia maksymalnego i naprężenia minimalnego. Jest to podwojona amplituda której wartość służy do wyznaczania liczby cykli z wykresów zmęzeniowych dla odpowiedniego gatunku stali.

5. Ocena nowości w pracy

- a) Przeprowadzenie aktualnej i dokładnej analizy stanu krajowego systemu energetycznego oraz posiadanych mocy wytwórczych w aspekcie dynamicznie rozwijających się niestabilnych źródeł OZE oraz określenie, na podstawie wskaźników dyspozycyjności i awaryjności, które jednostki mogą przejąć bilansowanie zapotrzebowania na energię a także określenie warunków jakie muszą być spełnione aby bloki energetyczne (zwłaszcza ich część turbinowa) mogły być bezpiecznie eksploatowane w warunkach pracy regulacyjnej.
- b) Wykorzystanie analiz przeprowadzonych za pomocą metodą elementów skończonych (MES) wirnika turbiny bloku 200 MW w celu określenia miejsc o największej koncentracji naprężeń i szczególnie narażonych na uszkodzenia w trakcie rozruchów przeprowadzanych ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego jako podstawę do opracowania własnych scenariuszy rozruchu turbiny dla przewidywanego czasu pracy 13 i 20 lat z założeniem, że blok uruchamiany jest 200 razy/rok z 30-godzinnym postojem pomiędzy odstawieniem i uruchomieniem. Scenariusze te wykorzystane zostały w obliczeniach propagacji pęknięć oraz szacowania prawdopodobieństwa zniszczenia od zużycia zmęczeniowo-pełzaniowego wirników WP i SP, gdzie ze względu na losowy charakter wielu zmiennych wykorzystano metodę Monte Carlo.
- c) W celu skrócenia czasu rozruchu opracowano optymalizację prowadzenia rozruchu turbiny (statyczną i dynamiczną) tak, aby w pierwszym przypadku dotrzymywać zadanych szybkości zmian temperatury, w drugim przypadku szybkość zmian temperatury uzależnić od wartości monitorowanych naprężeń, przy czym w obydwu przypadkach nie mogą być przekraczane naprężenia dopuszczalne.
- d) Opracowanie algorytmu bieżącej (on-line) kontroli naprężeń w wybranych krytycznych miejscach wirnika (część WP i SP) i kadłubie wewnętrznym turbiny w którym do wyznaczania naprężeń cieplnych umiejętnie zastosowano funkcje wpływu Green'a a ze względu na duży zakres zmian współczynnika wnikania ciepła podzielono czas trwania rozruchu na etapy zależne od jego wartości. Różnice naprężeń pomiędzy wyznaczonymi wartościami za pomocą funkcji Green'a a obliczeniami MES skorygowano wprowadzając współczynnik korygujący do obliczeń temperatury zastępczej.
- e) Opracowanie algorytmów strategii planowania długotrwałej bezpiecznej eksploatacji turbiny w oparciu o analizę ryzyka wystąpienia awarii w których do określenia optymalnego czasu przeprowadzenia diagnostyki i napraw wykorzystano wskaźnik NPV.

6. Wnioski końcowe

Stwierdzam, pomimo poczynionych uwag, które w części były uwagami porządkowymi, redakcyjnymi a w części uwagami dyskusyjnymi, że Pani mgr inż. Martyna Tomala w przedłożonej rozprawie doktorskiej poprawnie sformułowała, rozwiązała i opisała postawione sobie zadanie jakim był dobór sposobów eksploatacji oraz planowanie badań diagnostycznych elementów turbin pracujących w elastycznych warunkach pracy w oparciu o analizę ryzyka. Założony cel badawczy został osiągnięty na wysokim poziomie, udowadniając bardzo dobre rozeznanie Pani mgr inż. Martyny Tomali w zagadnieniach związanych z budową i eksploatacją maszyn energetycznych oraz świadczy o dużych predyspozycjach do pracy naukowo-badawczej dającej gotowe rozwiązania do zastosowania w warunkach przemysłowych.

Rozprawa doktorska napisana została w sposób uporządkowany i logiczny a dokładne rozeznanie literaturowe oraz przekazana w niej bogata wiedza z zakresu zagadnień związanych z energetyką zawodową oraz eksploatacją turbin, czynią pracę wartościową i sprawiają, że czyta się ją z dużą przyjemnością.

Uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Martyny Tomali spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w myśl obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. 2017, poz. 1789) i wobec powyższego, wnioskuję do Wysokiej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Martyny Tomali do dalszego etapu w postępowaniu o nadanie stopnia doktora.

Ponadto

Z uwagi na obszerny zakres pracy, przemyślane i właściwie wykorzystane metody rozwiązań tak złożonego zagadnienia jakiego podjęła się Pani mgr inż. Martyna Tomala a zwłaszcza, co zasługuje na szczególne podkreślenie, z uwagi na utylitarny charakter pracy, której wyniki mogą być bezpośrednio zastosowane w elektrowniach i elektrociepłowniach w układach monitorujących i nadzorujących pracę maszyn energetycznych (nie tylko części turbinowej), **zwracam się z prośbą do Rady Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej Pani mgr inż. Martyny Tomali.**

