

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Doroty Jackiewicz
pt. „Ocena stanu naprężeń w ferromagnetycznych elementach
konstrukcyjnych z zastosowaniem zjawiska magnetosprężystego”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie prof. dr hab. inż. Gerarda Cybulskiego, Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej z dnia 14 lipca 2023 r.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Roman Szewczyk, a promotorem pomocniczym jest dr hab. inż. Szymon Gontarz, prof. uczelni.

2. Ocena wyboru tematu i celu pracy

Stalowe elementy konstrukcyjne stosowane w budownictwie, energetyce i w transporcie lądowym, morskim i powietrznym są poddawane ciągłemu oddziaływaniu sił zewnętrznych, jak też wpływowi warunków atmosferycznych, które generują w nich naprężenia mechaniczne. Występowanie naprężeń w elementach konstrukcyjnych skutkuje zwiększeniem intensywności procesów starzeniowych, co w konsekwencji prowadzi do skrócenia czasu użytkowania konstrukcji, a nawet – w skrajnych przypadkach – do ich zniszczenia, w tym o charakterze gwałtownym (np. katastrofy budowlane). Z tego względu istotnym zagadnieniem jest ocena i monitoring stanu naprężeń występujących w elementach konstrukcyjnych, przede wszystkim w sposób nieingerujący w konstrukcję (tzw. badania nieniszczące). Na przestrzeni lat opracowano wiele technik badań nieniszczących stosowanych do oceny stanu naprężeń w elementach konstrukcyjnych, m.in. ultradźwiękowe, rentgenowskie, tensometryczne, optyczne i magnetyczne. W przypadku stalowych elementów konstrukcyjnych wykazujących właściwości ferromagnetyczne szeroko stosowane są badania nieniszczące wykorzystujące różne metody magnetyczne. Metody te posiadają jednak ograniczenia, i z tego powodu wciąż prowadzone są badania naukowe i inżynierskie mające na celu udoskonalenie istniejących oraz opracowanie nowych metod magnetycznych służących do oceny stanu naprężeń w ferromagnetycznych elementach konstrukcyjnych.

Doktorantka w ramach realizowanej rozprawy doktorskiej zaplanowała opracowanie i weryfikację metody wykorzystującej zjawisko magnetosprężyste do badań właściwości

magnetycznych oraz do oceny stanu naprężeń w elementach konstrukcyjnych wykonanych ze stali ferromagnetycznych. Doktorantka sformułowała cel rozprawy jako:

„weryfikacja możliwości wykorzystania zjawiska magnetosprężystego do oceny stanu naprężeń w elementach konstrukcyjnych wykonanych ze stali ferromagnetycznej”

oraz postawiła następującą tezę:

„ocena stanu naprężeń w elementach konstrukcyjnych wykonanych ze stali ferromagnetycznej może być zrealizowana z wykorzystaniem zjawiska magnetosprężystego”.

Uważam, że podjęta przez Doktorantkę tematyka badawcza jest aktualna, a jej wybór jest istotny zarówno w kontekście prac naukowych, jak również inżynierskich. Cel i teza rozprawy zostały poprawnie sformułowane oraz są zbieżne z tematyką i zakresem rozprawy doktorskiej, aczkolwiek teza rozprawy mogłaby zostać rozbudowana o wskazanie czułości pomiarowej opracowanej metody w odniesieniu do badanych stali ferromagnetycznych.

3. Redakcja i zakres pracy

Rozprawa doktorska została wydana w postaci monografii, która liczy 129 stron i zawiera: streszczenie w języku polskim i angielskim, 12 rozdziałów, w tym: wprowadzenie, cel i zakres pracy, 9 rozdziałów właściwych, podsumowanie i wnioski końcowe, oraz bibliografię. Spis literatury zawiera 120 pozycji, w tym 20 autorstwa (1 pozycja) lub współautorstwa (19 pozycji) Doktorantki (w 9 pozycjach Doktoranta jest pierwszym autorem).

W rozdziale 1, stanowiącym wprowadzenie do pracy, Doktorantka w sposób syntetyczny scharakteryzowała metody badań nieniszczących stosowane do oceny stanu stalowych elementów konstrukcyjnych, w tym metody magnetyczne, oraz omówiła ich wady i zalety. Doktorantka w Rozdziale 1 wskazała również przyczyny podjęcia przez nią tematyki badawczej będącej przedmiotem rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 2 Doktorantka sformułowała cel i tezę rozprawy doktorskiej oraz przedstawiła zakres zrealizowanych prac i badań.

Rozdział 3 został poświęcony opisowi metod wykorzystywanych od oceny stanu naprężeń w konstrukcjach stalowych. Doktorantka opisała metodę tensometryczną, metody optyczne światłowodową i triangulacyjną, metodę wibrotermograficzną oraz metody magnetyczne, w tym magnetyczno-proszkową, rozpraszania strumienia magnetycznego, magnetowizyjną, prądów wirowych i tomografii wiropądowej, magnetostykcyjną, wykorzystującą efekt Barkhausena, magnetycznej pamięci metalu, pomiarów magnetosprężystych oraz elektromagnetyczną. Większość wymienionych metod została opisana w sposób bardzo szczegółowy, w tym w kontekście wykorzystywanych w nich zjawisk. Natomiast niektóre metody zostały przedstawione na dużym poziomie ogólności, przykładowo metoda wykorzystująca efekt Barkhausena. Podsumowaniem rozdziału jest tabela, w której zestawiono opisane metody ze wskazaniem zjawisk w nich wykorzystywanych, mechanizmów pomiaru oraz ich zalet, wad i ograniczeń. W kontekście przedstawionych w rozdziale informacji, Doktorantka wskazała na potrzebę opracowania nowej metody oceny stanu konstrukcji wykorzystującej zjawisko magnetosprężyste.

W rozdziale 4 Doktorantka opisała zjawisko magnetostrykcji, czyli zmianę wymiarów geometrycznych elementu ferromagnetycznego następujące pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego, jak również zjawisko termodynamicznie odwrotne, tj. zjawisko Villariego (zwane także zjawiskiem magnetosprężystym). Doktorantka opisała elementy składowe całkowitej energii swobodnej materiału magnetycznego i wskazała, które z nich determinują wpływ naprężeń na właściwości magnetyczne materiału. Przedstawiła również założenia dotyczące sposobu wykonania próbek do zaplanowanych badań.

W rozdziale 5 omówiono wybrane modele służące do opisu procesu magnesowania (pętli histerezy), tj. model Jilesa-Athertona i model Tackacsa, jak również metodykę uwzględniania naprężeń mechanicznych w tensorze względniej przenikalności magnetycznej. W rozdziale 6 przedstawiono natomiast wybrane metody identyfikacji parametrów modelu magnesowania Jilesa-Athertona. Rozdziały 5 i 6 dotyczą tej samej tematyki i są stosunkowo krótkie, a tym samym powinny zostać połączone w jeden rozdział rozprawy doktorskiej.

Rozdział 7 ma zaledwie 2 strony, przedstawia właściwości fizykochemiczne i mechaniczne dwóch typów ferromagnetycznych stali konstrukcyjnych X30Cr13 i 13CrMo4-5, z których zostały wykonane próbki do realizowanych badań. Natomiast w rozdziale 8 przedstawiono przyjęte założenia w zakresie kształtów badanych próbek (pierścieniowa i ramkowa), wyniki analizy MES rozkładu naprężeń rozciągających i rozkładu gęstości strumienia magnetycznego w próbce ramkowej oraz budowę opracowanych przez Doktorantkę stanowisk do pomiaru właściwości magnetosprężystych i charakterystyk temperaturowych. Ze względu na zbieżną tematykę, a także ich objętość, rozdziały 7 i 8 powinny zostać połączone w jeden rozdział.

W rozdziale 9 Doktorantka przedstawiła wyniki pomiarów w zakresie: (i) właściwości magnetycznych próbek pierścieniowych (referencyjnych) i ramkowych wykonanych ze stali konstrukcyjnych X30Cr13 i 13CrMo4-5, (ii) pętli histerezy i charakterystyk magnetosprężystych próbek ramkowych dla wybranych poziomów naprężeń, (iii) charakterystyk temperaturowych właściwości magnetycznych próbek ramkowych oraz (iv) charakterystyk magnetosprężystych próbek ramkowych po procesie „step cooling”, symulującym wpływ czasu oraz warunków środowiskowych na elementy konstrukcyjne. W rozdziale Doktorantka zawarła również wyniki analiz charakterystyk pomiarowych, na podstawie których stwierdziła istotny wpływ naprężeń na właściwości magnetyczne badanych stali konstrukcyjnych.

W rozdziale 10 przedstawiono wyniki weryfikacji zaproponowanej metody oceny stanu naprężeń w konstrukcjach mechanicznych przy użyciu charakterystyk magnetosprężystych. Weryfikacja została przeprowadzona na modelu kratownicy płaskiej w układzie Warrena w dwóch konfiguracjach: typu S z próbkami z otworem oraz typu M z próbkami pełnymi (bez otworu). W rozdziale przedstawiono charakterystyki magnesowania (pętli histerezy) oraz charakterystyki magnetosprężyste, jak również wyniki przeprowadzonych analiz wskazujących na konfigurację typu M jako lepsze rozwiązanie do oceny naprężeń w ferromagnetycznych elementach konstrukcyjnych.

W rozdziale 11 Doktorantka przedstawiła wyniki modelowania pętli histerezy dla próbek ramkowych i dla kratownicy w konfiguracji M wykonanych ze stali konstrukcyjnej 13CrMo4-5. W modelowaniu Doktorantka wykorzystwała model Jilesa-Athertona, a do estymacji jego parametrów zastosowała algorytm minimalizacji oparty na metodzie ewolucji różnicowej,

zaimplementowany w oprogramowaniu OCTAVE. Modelowanie pętli histerezy zostało wykonane dla próbek w stanie nieobciążonym (założono, że materiał jest izotropowy w skali makroskopowej) oraz w przypadku występowania w próbkach naprężeń mechanicznych. Doktoranta przedstawiła w rozdziale pomiarowe i modelowe pętle histerezy uwzględniające wpływ naprężeń, jak również określiła wpływ siły oddziałującej na konstrukcję (naprężeń mechanicznych) na wartości parametrów modelu J-A.

Rozdział 12 stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej, prezentuje wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz wykaz najważniejszych osiągnięć Doktorantki. W rozdziale Doktorantka wskazała również potencjalne obszary przyszłych prac naukowo-badawczych.

Reasumując, uważam że treść oraz zakres rozprawy są zgodne z jej tytułem. Układ rozprawy jest czytelny, a kolejne rozdziały tworzą logiczną i spójną całość, przy czym rozdziały 5 i 6 oraz 7 i 8 – jak wskazano powyżej – powinny zostać połączone, co poprawiłoby strukturę pracy. Rozprawa została napisana w sposób zrozumiały, z użyciem poprawnego języka technicznego, a jej redakcja jest na dobrym poziomie. Dobór źródeł literaturowych oraz sposób ich cytowania w tekście rozprawy jest prawidłowy i świadczy o dobrym rozeznaniu Doktorantki w obszarze badań prezentowanych w rozprawie.

4. Ocena wartości naukowej

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktorantki należy zaliczyć:

- a) wykonanie badań właściwości magnetycznych i charakterystyk magnetoelastycznych typowych stali konstrukcyjnych X30Cr13 i 13CrMo4-5 oraz wykazanie ich właściwości ferromagnetycznych,
- b) ocenę wpływu temperatury oraz czasu eksploatacji i warunków środowiskowych (proces „step cooling”) na właściwości magnetyczne i magnetoelastyczne stali konstrukcyjnych,
- c) opracowanie stanowisk badawczych i metodyki wyznaczania charakterystyk magnetycznych i magnetoelastycznych dla próbek ramkowych oraz wykazanie wpływu naprężeń mechanicznych na właściwości magnetyczne badanych stali konstrukcyjnych,
- d) weryfikację opracowanej metody na układzie modelowym zbliżonym do konstrukcji stosowanych w warunkach rzeczywistych, tj. na modelu kratownicy płaskiej w układzie Warrena w dwóch konfiguracjach: typu S (próbki z otworem) i typu M (próbki pełne),
- e) uwzględnienie w modelowaniu właściwości magnetycznych (model Jilesa-Athertona) wpływ naprężeń mechanicznych, jak również określenie wpływu siły oddziałującej na konstrukcję na wartości parametrów modelu J-A.

Uważam, że zaproponowana w rozprawie metoda oceny stanu naprężeń w ferromagnetycznych elementach konstrukcyjnych wykorzystująca zjawisko magnetoelastyczne została pozytywnie zweryfikowana, a tym samym mgr inż. Dorota Jackiewicz udowodniła słuszność sformułowanej w rozprawie tezy oraz osiągnęła zaplanowany cel.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, a w szczególności w obszar związany z badaniami nieniszczącymi stosowanymi do oceny stanu naprężeń w elementach konstrukcyjnych wykonanych ze stali ferromagnetycznych.

5. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

5.1. Uwagi merytoryczne i kwestie dyskusyjne

- a) w rozdziale 4 na stronach 35 i 36 występuje określenie "pętle motylne", które jest tłumaczeniem angielskiego zwrotu "butterfly loops". Czy sformułowanie „pętle motyle” występuje w innych pracach polskojęzycznych? Czy sformułowanie "pętle motylkowe" lub "pętle o kształcie motyla" nie byłyby bardziej poprawne stylistycznie?
- b) w rozdziale 5 Doktorantka opisała wybrane modele procesu magnesowania, tj. model Jilesa-Athertona i model Takacsa. Jak wiadomo, istnieje wiele innych modeli opisujących proces magnesowania, np. Stonera-Wohlfartha, Preisacha, Harrisona czy GRUCAD. Dlaczego Doktorantka opisała tylko dwa modele? Czy celowym był opisywanie w rozprawie doktorskiej modelu Takacsa, który nie był wykorzystywany w dalszych badaniach realizowanych przez Doktorantkę? – zwłaszcza w kontekście sformułowania umieszczonego na stronie 49 „Z wyżej przedstawionych modeli najbardziej odpowiednim do modelowania wpływu naprężeń na charakterystyki magnetyczne jest model Jilesa–Athertona. Ze względu na możliwość powiązania parametrów modelu z właściwościami fizycznymi i uwzględnienie anizotropii.”
- c) sformułowanie "Oryginalny model umożliwia modelowanie pętli histerezy tylko dla jednej wartości pola magnesującego" (strona 42) jest niejasny. Proszę o wyjaśnienie tego sformułowania,
- d) na jakiej podstawie przyjęto założenie, sformułowane w podrozdziale 8.1 na stronie 56, że "wyniki badań właściwości magnetycznych wykonane na próbkach pierścieniowych są magnetycznymi parametrami materiałowymi"?
- e) dlaczego wszystkie pomiary właściwości magnetycznych oraz magnetosprężystych wykonano dla trójkątnego kształtu przebiegu pola magnetycznego $H(t)$? Czy i jakie normy/standardy pomiarów magnetycznych zostały uwzględnione w pomiarach?
- f) podsumowania pomiarów dla próbek pierścieniowych ze stali konstrukcyjnych zamieszczone w podrozdziałach 9.1.1 i 9.1.2 w postaci "Wykonane pomiary właściwości magnetycznych potwierdziły, że stal X30Cr13 / 13CrMo4-5 jest ferromagnetykiem magnetycznie miękkim" są niewystarczająco uzasadnione, zwłaszcza dla czytelników niebędących ekspertami z inżynierii materiałów magnetycznych. Właściwe wyjaśnienie i interpretacja otrzymanych pomiarów znajduje się natomiast w kolejnym podrozdziale 9.1.3 (Wnioski). Uważam, że powyższe sformułowania zamieszczone w podrozdziałach 9.1.1 i 9.1.2 powinny zostać rozbudowane lub opcjonalnie – usunięte,
- g) w podrozdziale 9.2 przedstawiono pomiary właściwości magnetycznych próbek pierścieniowych i ramkowych ze stali konstrukcyjnych X30Cr13 i 13CrMo4-5, przy czym pomiary dla próbek pierścieniowych były traktowane jako pomiary referencyjne. Doktoranta prawidłowo zinterpretowała otrzymane wyniki, natomiast w pracy zabrakło zestawienia przynajmniej kilku wybranych charakterystyk dla próbek pierścienkowych i ramkowych, np. pętli histerezy, przenikalność magnetycznej, krzywej $B_m(H_m)$. Umieszczenie w rozprawie takich zestawień charakterystyk pozwoliłoby na wstępną ocenę wpływu geometrii próbki na jej właściwości magnetyczne,

h) w podrozdziale 9.2 Doktorantka stwierdziła w odniesieniu do własności magnetycznych próbek pierścieniowych i ramkowych, że *"zaistniałe różnice są na poziomie pomijalnym w dalszych rozważaniach"* (strona 76). W przypadku stali X30Cr13:

- indukcja maksymalna B_m wynosi 1264 i 1131 mT, odpowiednio dla próbki pierścieniowej i ramkowej, co stanowi rozbieżność na poziomie ok. 10%,
- indukcja remanentu B_r wynosi 933 i 755 mT, odpowiednio dla próbki pierścieniowej i ramkowej, co stanowi rozbieżność na poziomie ok. 19%.

W przypadku stali 13CrMo4-5 rozbieżności są na podobnym poziomie (odpowiednio ok. 12 i 16%). Czy taki poziom rozbieżności można traktować jako pomijalny?

- i) dlaczego pętle histerezy dla próbek ramkowych ze stali X30Cr13 i 13CrMo4-5 były mierzone przy różnych poziomach naprężeń wynoszących odpowiednio 0, 100 i 600 MPa oraz 0, 125 i 450 MPa? Dlaczego nie wykonano pomiarów pętli histerezy dla obu próbek przy tych samych poziomach naprężeń mechanicznych (co umożliwiłoby analizę porównawczą wyników)?
- j) dlaczego charakterystyki magnetoelastyczne dla próbek ramkowych ze stali X30Cr13 i 13CrMo4-5 zostały wyznaczone dla różnych wartości amplitud pola magnesującego wynoszących odpowiednio 640, 1200 i 4000 A/m oraz 450, 850 i 2800 A/m? Dlaczego nie wyznaczono charakterystyk magnetoelastycznych dla obu próbek przy tych samych wartościach amplitud pola magnesującego (co umożliwiłoby analizę porównawczą wyników)?
- k) analizując otrzymane pętle histerezy oraz charakterystyki magnetoelastyczne dla próbek ze stali X30Cr13 i 13CrMo4-5 (rysunki 9.21 - 9.30) można zauważyć, że wzrost wartości naprężeń początkowo powoduje poprawę właściwości magnetycznych próbek, a następnie – przy dużych wartościach naprężeń – istotne pogorszenie tych właściwości. Czy Doktorantka w swoich badaniach podjęła próbę określenia wartości granicznych naprężeń, przy których rozpoczyna się proces pogarszania właściwości magnetycznych stali konstrukcyjnych?
- l) oznaczenia w tablicy 10.1 są niejasne, gdyż nie określono: (i) co oznaczają liczby od 1 do 18 (pierwsza kolumna), (ii) czy wskazane wartości naprężeń dotyczą próbki typu S czy typu M. Dodatkowo w tekście rozprawy nie zamieszczono informacji, w jaki sposób zostały wyliczone wartości prezentowane w tabeli.
- m) dlaczego w przypadku kratownicy w konfiguracji S pętle histerezy oraz charakterystyki magnetoelastyczne $B_m(\sigma)_{Hm}$ przedstawiono w funkcji naprężeń σ wyrażonych w [MPa], natomiast w przypadku kratownicy w konfiguracji M analogiczne pętle i charakterystyki przedstawiono w funkcji przyłożonej siły F wyrażonej w [kN]?

5.2. Uwagi redakcyjne

Rozprawa doktorska została zredagowana poprawnie, z właściwym użyciem języka technicznego, aczkolwiek zawiera pewne uchybienia redakcyjne, które wymieniono poniżej:

- a) uchybienia w użyciu znaków interpunkcyjnych, w tym: brak przecinków, przed spójnikami „jak i”, „jak również”, przykładowo: „...dla dodatniej jak i dla ujemnej...” (strona 11); „... sił mechanicznych jak również odkształcenie ...”, „... lokalnie jak również

- na dużym obszarze ..." (strona 16); „... nadajnika jak i obiektywu ..." (strona 17), „... zewnętrznych jak również być ..." (strona 41) i kolejne,
- b) przypadkowe znaki w tekście, przykładowo: "... w odniesieniu do opisu procesu `stali konstrukcyjnych..." (strona 10),
- c) użycie niewłaściwych końcówek, przykładowo: „... umożliwiły walidację propozycji ..." (strona 3); „... zmieniają swoją rezystancję ..." (strona 11),
- d) uchybienia stylistyczne lub niejasne sformułowanie, przykładowo:
- „Zapewnia to na dużą mobilność badań tą metodą” (strona 19);
 - użycie słowa „wyciekające” w odniesieniu do pola magnetycznego (strona 21);
 - „Ponadto interpelacja wyników jest często niejednoznaczna” (strona 25);
 - „... na rysunku poniżej 3.13” (strona 25);
 - „... stosowano próbki okienne pokazaną na rysunku 3.19” (strona 29);
 - „... zmiana odkształcenie magnetostrykcyjne ..." (strona 36);
 - w tabeli 3.1 w odniesieniu do wad metody magnetosprężystej z zamkniętym magnetowodem użyto sformułowania „możliwość uzwojenia elementu”. W kontekście cechy negatywnej powinno się raczej użyć sformułowania „konieczność uzwojenia elementu”,
 - w opisie symboli pod równaniem (4.2) użyto sformułowania „ Δl – zmiana wydłużenia próbki”. Bardziej adekwatne i spójne z użytymi oznaczeniami byłoby sformułowanie „ Δl – zmiana długości próbki”,
- e) „sklejenie” spójników i następujących po nich wyrazów (wąskie spacje w porównaniu do pozostałych spacji), przykładowo „z ferromagnetykami” (strona 3), „z materiałów” (strona 13); „z bezpieczeństwem” (strona 23) i kolejne,
- f) występowanie tzw. „wdów”, przykładowo na stronach 23, 41, 122 i 123,
- g) niekonsekwentny format zapisu symboli w równaniu i w opisach (czcionka prosta lub pochyła), przykładowo: równania (3.2), (4.5), (4.6), (4.8) i (5.5),
- h) użycie innych oznaczeń kąta przesunięcia wektora magnetyzacji M_s (ϕ i φ) na rysunku 4.3 i w jego opisie,
- i) pisanie kursywą operatorów różniczkowania, funkcji trygonometrycznych, przykładowo: równanie (3.2), (4.5) i (4.6),
- j) inna wielkość czcionek użytych we wzorach (4.5) i (4.6),
- k) w równaniu (5.6) znajduje się operator "cath", który powinien oznaczać cotangens hiperboliczny, a więc powinien być zapisany jako "ctgh" lub "coth",
- l) drobne literówki, przykładowo: „w dwu osiach: pniowej i poziomej” (strona 17); „głównie” (strony 28 i 34); „model Jalesa–Athertona” (strona 49),
- m) niespójności w zapisie pozycji literaturowych: w zdecydowanej większości pozycji książkowych, prac magisterskich i doktoranckich tytuły prac pisane są kursywą, natomiast w przypadku pozycji [52] i [87] – czcionką prostą.

Należy podkreślić, że wskazane uchybienia redakcyjne nie wpływają w istotny sposób na ocenę merytoryczną rozprawy.

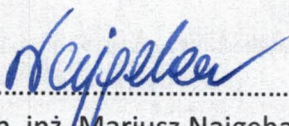
Handwritten signature

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oraz potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, jak również umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zawarte w punkcie 5 uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne nie wpływają w znaczący sposób na ocenę merytoryczną recenzowanej rozprawy.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Doroty Jackiewicz pt. *„Ocena stanu naprężeń w ferromagnetycznych elementach konstrukcyjnych z zastosowaniem zjawiska magneto-sprężystego”* **spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. – Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 ze zmianami wprowadzonymi Ustawą z dnia 18.03.2011 r. i późniejszymi zmianami.

Niniejszym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Doroty Jackiewicz pt. *„Ocena stanu naprężeń w ferromagnetycznych elementach konstrukcyjnych z zastosowaniem zjawiska magneto-sprężystego”* do publicznej obrony.


.....
/dr hab. inż. Mariusz Najgebauer, prof. uczelni/