

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Sierżęgi
pt. „Wyznaczanie rozkładu pola magnetycznego w blachach
transformatorowych z uwzględnieniem histerezy magnetycznej”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie dr hab. inż. Macieja Sułowicza, prof. PK, Dziekana Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej (WIEiK PK) z dnia 19 września 2024 r., zgodnie z Uchwałą nr 28/2024 Rady Naukowej dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne WIEiK z dnia 18.09.2024 r.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Witold Mazgaj, prof. PK, a promotorem pomocniczym jest dr inż. Zbigniew Szular.

2. Ocena wyboru tematu i celu pracy

Obwody magnetyczne są integralnymi elementami urządzeń elektrycznych, a właściwości zastosowanych materiałów magnetycznych, takie jak indukcja nasycenia, przenikalność magnetyczna czy stratność, warunkują parametry użytkowe tych urządzeń. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat nastąpił dynamiczny rozwój w zakresie inżynierii materiałowej, w efekcie którego opracowano wiele nowoczesnych materiałów magnetycznie miękkich takich jak taśmy o strukturze amorficznej i nanokrystalicznej, blachy wysokokrzemowe czy materiały kompozytowe. Materiały te pomimo niewątpliwych zalet, przede wszystkim niższej stratności, charakteryzują się również istotnymi ograniczeniami zarówno w odniesieniu do właściwości magnetycznych (niższa indukcja nasycenia), jak również mechanicznych (znaczna kruchość) i konstrukcyjnych (niewielka szerokość taśm amorficznych). Ograniczenia te są istotne zwłaszcza w odniesieniu do dużych gabarytowo urządzeń takich jak transformatory blokowe, silniki dużej mocy czy generatory. W konstrukcji rdzeni magnetycznych wskazanych urządzeń elektroenergetycznych podstawowym materiałem magnetycznym są blachy elektrotechniczne o ziarnie zorientowanym (tzw. transformatorowe) oraz niezorientowanym (tzw. prądnicowe). Z tego względu analiza i modelowanie właściwości magnetycznych blach elektrotechnicznych, procesu ich magnesowania oraz rozkładu pola w elementach z nich wykonanych są istotnymi

zagadnieniami, zarówno w aspekcie poznawczym, jak również praktycznym – na przykład w projektowaniu urządzeń elektroenergetycznych. W przypadku transformatorów zagadnienia te są szczególnie skomplikowane w odniesieniu do naroży rdzenia i obszarów połączenia kolumny rdzenia z jarzmem transformatora, w których następuje zmiana kierunku przepływu strumienia magnetycznego względem osi łatwego magnesowania blachy. Dodatkowym utrudnieniem jest anizotropia właściwości magnetycznych blach transformatorowych oraz nieliniowość procesu magnesowania.

Doktorant w ramach realizowanej rozprawy doktorskiej zaplanował opracowanie metody wyznaczania i modelowania rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych, w tym w „specyficznych” strefach rdzenia transformatorowego, tj. w narożach rdzenia oraz obszarach połączeń kolumny środkowej z jarzmem. Doktorant zaplanował również włączenie charakterystyk magnesowania (pętli histerezy magnetycznej) do opracowanej metody.

Doktorant sformułował cel rozprawy jako:

„Przedstawienie propozycji modelowania procesu magnesowania blach transformatorowych o strukturze krystalicznej w dowolnym kierunku na jej płaszczyźnie. Model procesu magnesowania ma uwzględnić zjawisko histerezy magnetycznej oraz zjawisko nasycenia wzdłuż kierunku walcowania lub kierunku poprzecznego”

oraz postawił następującą tezę:

„Zmiany indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych dla dowolnego kierunku magnesowania mogą być wyznaczone z uwzględnieniem histerezy magnetycznej i tekstury Gossa tylko na podstawie dwóch odpowiednio modyfikowanych charakterystyk magnesowania wyznaczonych dla kierunku walcowania blachy transformatorowej i kierunku prostopadłego do kierunku walcowania”.

Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest aktualna i wpisuje się w realizowane na świecie badania, a jej wybór jest istotny zarówno w kontekście rozważań naukowych, jak również prac inżynierskich. Cel i teza pracy zostały poprawnie sformułowane oraz są zbieżne z tematyką i zakresem rozprawy doktorskiej.

3. Redakcja i zakres pracy

Rozprawa doktorska liczy 80 stron i zawiera: streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń, 7 rozdziałów, w tym: wprowadzenie, w którym sformułowano cel i zakres pracy, 5 rozdziałów właściwych, podsumowanie, oraz bibliografię. Spis literatury zawiera 76 pozycji, w tym 6 prac współautorskich Doktoranta (w 3 pracach Doktorant jest pierwszym autorem).

W rozdziale 1, stanowiącym wprowadzenie do rozprawy, Doktorant scharakteryzował zagadnienie badawcze, tj. modelowanie procesu magnesowania blach transformatorowych. Wskazał na istotny wpływ struktury wewnętrznej blach (tzw. tekstury Gossa) na właściwości magnetyczne oraz na trudności w modelowaniu rozkładu pola magnetycznego w obszarach naroży rdzeni transformatorów i połączeń kolumny środkowej z jarzmem. Doktorant wskazał również na istniejące ograniczenia w modelowaniu tych zagadnień, co stanowiło bezpośrednią przesłankę do podjęcia tematyki badawczej będącej przedmiotem pracy. W rozdziale

Doktorant przedstawił również cel rozprawy doktorskiej, zakres zrealizowanych badań oraz sformułował tezę rozprawy doktorskiej.

Rozdział 2 został poświęcony omówieniu podstawowych zagadnień dotyczących budowy i właściwości blach elektrotechnicznych w zakresie: struktury krystalograficznej blach o ziarnie zorientowanym i niezorientowanym, wpływu składu chemicznego na właściwości elektryczne i magnetyczne, parametrów materiałowych podawanych przez producentów blach (grubość, stratność, indukcja nasycenia). W rozdziale opisano również proces magnesowania, zjawisko histerezy magnetycznej oraz podstawowe metody pomiaru właściwości magnetycznych.

W rozdziale 3 Doktorant opisał wybrane metody modelowania pętli histerezy, w tym model wykorzystujący funkcję eksponencjalną oraz zmodyfikowane modele umożliwiające modelowanie pętli histerezy dla różnych kierunków magnesowania: (i) model oparty na pętli histerezy w kierunku TD (model A) oraz (ii) model wykorzystujący funkcję arctg (model B). W rozdziale przedstawiono graficznie zmiany parametrów modelu A i B w funkcji kąta magnesowania α_H blachy transformatorowej oraz porównanie statycznych pętli histerezy, tj. zmierzonych przy częstotliwości 3 Hz, oraz wyznaczonych numerycznie z wykorzystaniem modelu A i modelu B. W zakończeniu rozdziału Doktorant wskazał, że model B granicznej pętli histerezy magnetycznej zostanie wykorzystany do modelowania zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych oraz do obliczeń rozkładu pola magnetycznego.

W rozdziale 4 opisano wybrane metody modelowania procesu magnesowania blach transformatorowych, wskazując jednocześnie że opisane modele nie uwzględniają zjawiska histerezy dla dowolnego kierunku magnesowania oraz warunku nasycenia magnetycznego. Następnie opisano metodę modelowania procesów magnesowania w warunkach statycznych dla dowolnego kierunku, wykorzystującą pętle histerezy dla kierunku walcowania (RD) i poprzecznego (TD). Opisano również metodykę uwzględniania zjawiska nasycenie poprzez wprowadzenie parametrów modelu α_{RD} i α_{TD} zdeterminowanych przez indukcję nasycenia oraz warunku ograniczającego na sumę wartości indukcji magnetycznych B_{RD} i B_{TD} , tj. wzdłuż osi łatwego magnesowania blachy i w kierunku prostopadłym. W zaproponowanym podejściu założono, że jedynie współczynniki korekcyjne modelu są funkcjami kąta magnesowania, tj. $w_{RD} = f(\alpha_H)$ i $w_{TD} = f(\alpha_H)$, a zakresy ich zmienności przedstawiono na rysunku. W rozdziale przedstawiono algorytmy wyznaczania górnej i dolnej gałęzi pętli histerezy magnetycznej oraz wyniki weryfikacji eksperymentalnej zaproponowanego modelu magnesowania blach transformatorowych dla wybranych wartości kątów α_H .

W rozdziale 5 Doktorant przedstawił algorytm uwzględnienia zaproponowanego modelu magnesowania w analizie rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych. W badaniach zastosowano zmodyfikowaną metodę zastępczych sieci reluktancyjnych, w której siatka podziału obszaru występowania pola magnetycznego nie zawierała reluktancji ani gałęziowych źródeł pola, w odróżnieniu od w klasycznej metody sieci reluktancyjnych. W pierwszym kroku wyznaczano natężenia pola i indukcji magnetycznej przy założeniu nieliniowej i jednoznacznej charakterystyki magnesowania, a następnie wykorzystano wyznaczone wektory \mathbf{H}_m i \mathbf{H}_p do analizy zmian indukcji z uwzględnieniem zjawiska histerezy magnetycznej. W rozdziale opisano zastosowaną w badaniach metodę pomiaru natężenia pola i indukcji magnetycznej wewnątrz pakietu blach transformatorowych za pomocą cewek magnesujących i pomiarowych „przenikających” próbkę. W celu weryfikacji zaproponowanej

metody, porównano wyznaczone pomiarowo i obliczone numerycznie przebiegi zmian indukcji magnetycznej w pakiecie blach dla kierunków magnesowania RD i TD.

W rozdziale 6 przedstawiono przykładowe wyniki w zakresie wyznaczania zmian indukcji w testowej próbce blach transformatorowych, uzyskane z wykorzystaniem zaproponowanych przez Doktoranta algorytmów, zarówno uproszczonego – uwzględniającego tylko nieliniowość procesu magnesowania, jak również rozbudowanego, w którym uwzględniono pętle histerezy. Symulacje wykonano dla 3 wybranych punktów próbki oraz przeprowadzono analizę i dyskusję uzyskanych wyników. W rozdziale przedstawiono również rozkłady indukcji magnetycznej na płaszczyźnie próbki blachy transformatorowej dla różnych kombinacji zasilania zwojów magnesujących. Mankamentem tego rozdziału jest brak porównania uzyskanych z obliczeń numerycznych zmian indukcji oraz pętli histerezy magnetycznej z danymi pomiarowymi, tak jak zostało to wykonane i opisane w rozdziale wcześniejszym.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej. Przedstawiono w nim wnioski z przeprowadzonych badań oraz syntetyczny opis zrealizowanych prac i najważniejszych osiągnięć Doktoranta. Wskazano również zagadnienia i obszary dalszych prac badawczych, w tym: modyfikację zaproponowanej metody w celu analizy zmian indukcji magnetycznej w obszarach połączeń kolumn rdzenia transformatora z jarzem; przeprowadzenie skalowania macierzy nieliniowych równań algebraicznych; wykonanie obliczeń numerycznych rozkładu pola magnetycznego dla kilku rdzeni transformatorów trójfazowych oraz ich eksperymentalną weryfikację.

Reasumując, uważam że treść oraz zakres rozprawy są zgodne z jej tytułem. Układ rozprawy jest czytelny, a kolejne rozdziały tworzą logiczną i spójną całość. 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 Doktoranta w obszarze zagadnień badawczych, których dotyczy rozprawa.

4. Ocena wartości naukowej

Problem badawczy, którego dotyczy rozprawa, jest zagadnieniem skomplikowanym ze względu na nieliniowość i „niejednoznaczność” procesu magnesowania (zjawisko histerezy magnetycznej), jak również ze względu na wybrane do analizy obszary rdzenia transformatora (naroża i tzw. obszar „T”), w których występują zmiany kierunku przepływu strumienia magnetycznego względem osi podłużnej kolumny rdzenia.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta przedstawionych w rozprawie doktorskiej należy zaliczyć:

- a) opracowanie metody wyznaczania i analizy zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych, wykorzystującej pętle histerezy wyznaczone dla dwóch kierunków magnesowania, tj. kierunku walcowania blachy (RD) i kierunku poprzecznego (TD),
- b) uwzględnienie w zaproponowanej metodzie zjawiska nasycenia poprzez wprowadzenie parametrów modelu α_{RD} i α_{TD} zdeterminowanych przez indukcję nasycenia oraz warunku ograniczającego na sumę wartości indukcji magnetycznych B_{RD} i B_{TD} ,

- c) opracowanie metod modelowania procesu magnesowania i rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych, uwzględniających zjawisko histerezy magnetycznej,
- d) weryfikacja eksperymentalna metod modelowania procesu magnesowania oraz zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych dla dowolnego kierunku ich magnesowania.

Uważam, że zaproponowane w pracy metody modelowania procesu magnesowania i zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych, uwzględniające histerezę magnetyczną i zjawisko nasycenia, zostały zweryfikowane, a tym samym mgr inż. Michał Sierżęga osiągnął zaplanowany cel oraz udowodnił słuszność sformułowanej w rozprawie tezy.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, a w szczególności w obszar związany rozwojem metod analizy i modelowania procesu magnesowania oraz rozkładu pola magnetycznego w obwodach magnetycznych urządzeniach elektrycznych.

5. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

5.1. Uwagi merytoryczne i kwestie dyskusyjne

1. we Wprowadzeniu (strona 10) Doktorant w odniesieniu do rdzenia transformatora napisał „*Wyznaczenie strat histerezowych w tym przypadku nie jest zagadnieniem skomplikowanym, gdyż istnieją wzory analityczne pozwalające oszacować wartość tych strat*”. Czy Doktorant miał na myśli tylko straty histerezowe, czy straty całkowite występujące w rdzeniu transformatora? Straty całkowite to suma strat statycznych (histerezowych) i strat dynamicznych (wiroprądowych – klasycznych i nadmiarowych). Urządzenia elektroenergetyczne (np. transformatory, silniki) pracują zazwyczaj przy napięciu przemiennym o częstotliwości 50 Hz, dla którego należy uwzględnić straty dynamiczne (wiroprądowe). Sformułowanie „straty histerezowe” jest użyte w wielu miejscach rozprawy (np. na stronach 11, 17, 21, 32 i kolejnych). Proszę o komentarz,
2. we Wprowadzeniu (strona 10) Doktorant wskazuje na różne kształty charakterystyk magnesowania, które otrzymywane są przy pomiarach blachy transformatorowej magnesowanej w kierunkach innych niż kierunek walcowania. Następnie opisuje teksturę Gossa występującą w tych blachach i warunkującą anizotropię ich właściwości. Wspomniane przez Doktoranta różnice kształtów charakterystyk magnesowania są konsekwencją anizotropowych właściwości blach, wynikających ze wspomnianej tekstury Gossa. Z tego powodu fragment pracy dotyczący tekstury Gossa powinien zostać umieszczony przed opisem krzywych magnesowania wyznaczonych dla różnych kierunków magnesowania blach,
3. w podrozdziale 2.1 wskazane byłby umieszczenie informacji o metodzie wytwarzania struktury Gossa w blachach transformatorowych oraz opisu anizotropii ich właściwości magnetycznych wraz ze wskazaniem kierunku o najgorszych właściwościach,
4. w podrozdziale 2.2 (strona 16) opisując blachy o zawartości krzemu 6,5% Si należało wyjaśnić, że nie są one produktowe konwencjonalnymi metodami (walcowanie), ale w procesie nakrzemiania chemicznego CVD (ang. *chemical vapour deposition*),

5. tabele 2.1-2.4 (strony 18-19): przy prezentacji w tabelach informacji, dotyczących na przykład parametrów materiałów magnetycznych, należy wskazać źródło, z którego te dane zostały zaczerpnięte (nawet jeżeli ta informacja została wcześniej podana w tekście). Umożliwia to szybkie i jednoznaczne stwierdzenie, czy dane prezentowane w tabeli dane są danymi autorskimi, czy też zaczerpniętymi z literatury,
6. w tytule i w treści podrozdziału 3.1 użyto sformułowania „*zmiany histerezy*”. Co Doktorant rozumie pod pojęciem „*zmiany histerezy*”? Uważam, że właściwym oraz jednoznacznym jest użycie sformułowania „*pętla histerezy*”, np. „*aproksymacja pętli histerezy*”,
7. w tekście pracy pojawiają się zamiennie określenia „*straty mocy*” (strony 6, 10 i 11), „*moc strat*” (strona 17) oraz „*straty energii*” (strona 20). Uważam, że należy stosować w całej pracy jedno określenie,
8. w tekście pracy na stronie 22 (a także na kolejnych stronach) występuje sformułowanie „*graniczna pętla histerezy*”. Czym jest „*graniczna pętla histerezy*”?
9. na rysunku 3.6 przedstawiono pętle histerezy zmierzone dla kierunków magnesowania 0° (RD), 45° i 90° (TD). Interesującym uzupełnieniem byłoby pokazanie na rysunku pętli histerezy dla kierunku magnesowania $54,7^\circ$, dla którego właściwości magnetyczne blachy są najgorsze,
10. na stronie 27 Doktorant napisał „ *H_k jest natężeniem pola magnetycznego, przy którym kończą się nieodwracalne zmiany indukcji magnetycznej a rozpoczynają się powolne obroty domen magnetycznych w kierunku pola magnetycznego*”. Proszę o wyjaśnienie sformułowania „*nieodwracalne zmiany indukcji magnetycznej*”,
11. na rysunkach 3.8-3.12 przedstawiono zmiany parametrów funkcji opisanych wzorami (3.12)-(3.14) w funkcji kąta α_H pomiędzy zadaniem kierunkiem magnesowania i kierunkiem walcowania blachy transformatorowej. Aproksymacja zmian wartości tych współczynników została wykonana krzywą łamaną, tj. odcinkami prostymi „od punktu do punktu” pomiarowego. Uważam, że aproksymacja danych pomiarowych powinna być wykonana krzywą „gładką”. Interesującym uzupełnieniem byłoby również wyznaczenie zależności analitycznych opisujących krzywe zmiany parametrów w funkcji kąta α_H . Analogiczna uwaga dotyczy rysunków 3.13-3.15. Natomiast prawidłowy sposób aproksymacji danych pomiarowych przedstawiono na rysunku 4.6,
12. na stronie 35 Doktoranta napisał „*Można zauważyć pewne rozbieżności między pętlami histerezy wyznaczonymi pomiarowo, a pętlami wyznaczonymi numerycznie z wykorzystaniem omówionych sposobów aproksymacji zmian histerezy*”. Sformułowanie „*pewne rozbieżności*” jest mało precyzyjne: „*pewne*” – to znaczy jakie?. Analogiczna uwaga dotyczy sformułowania „*(...) pewien model anizotropowy*” (strona 36),
13. Doktorant do dalszych prac w zakresie modelowania zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych oraz obliczeń rozkładu pola magnetycznego wybrał model B pętli histerezy wskazując, że „*model A może dawać nieco dokładniejsze wyniki, jednak posiada więcej parametrów względem modelu B. Parametry modelu B są łatwiejsze w doborze, dając zadowalającą dokładność w aspekcie potrzeb inżynierskich*” (strona 35). Uważam, że stwierdzenie użyte przez Doktoranta, zwłaszcza w odniesieniu do sformułowania „*dokładniejsze wyniki*”, powinno być potwierdzone

obiektywnymi danymi, np. poprzez wskazanie błędów dopasowania dla modelu A oraz modelu B do danych pomiarowych,

14. Doktorant na stronie 42 napisał, że wartości współczynniki w_{RD} i w_{TD} dla kątów α_H , dla których nie dysponuje się pętlami pomiarowymi, wyznaczone są na podstawie liniowej aproksymacji, co przedstawiono na rysunku 4.6. Zgodnie z definicją, aproksymacja liniowa to przybliżanie za pomocą funkcji liniowej, natomiast punkty na rysunku 4.6 nie zostały aproksymowane funkcją liniową tylko krzywą. Proszę o komentarz,
15. w podpisie rysunków 4.9-4.10 podano nieprawidłowe oznaczenie wypadkowej indukcji magnetycznej, tj. B_{nas} zamiast B_{wyp} ,
16. w tekście rozprawy brak jest bezpośredniego odniesienia do rysunków 6.8-6.10,
17. na rysunkach 6.11-6.12 przedstawiono rozkład indukcji magnetycznej na płaszczyźnie próbki blachy transformatorowej. Proszę o opisanie metody, którą uzyskano wyniki przedstawione na tych rysunkach?

Na stronie 35 rozprawy Doktorant zwrócił uwagę na istotny aspekt modelowania procesu magnesowania *„Należy jednak pamiętać, że model histerezy będzie użyteczny, jeśli stosunkowo łatwo może być uwzględniony w równaniach rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych”*. W pełni zgadzam się z opinią Doktoranta, że nadmierne „rozbudowywanie” modeli procesu magnesowania w celu nieznacznej poprawy dokładności modelowania nie jest istotne i celowe z inżynierskiego punktu widzenia.

5.2. Uwagi redakcyjne

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

1. uchybienia w użyciu znaków interpunkcyjnych, w tym:
 - brak kropki na końcu zdania *„(...) charakterystyk magnesowania Jednak (...)”* (strona 10),
 - występowanie w tekście tzw. „sierot”, czyli spójników „a”, „i”, „o”, „w” lub „z” na końcu wersu,
 - podwójne spacje, przykładowo: *„Do takich (...)”* (strona 17), *„(...) blachy prądnicowej M530–50A magnesowanej (...)”* (strona 20),
 - brak przecinków przed spójnikami „a”, „gdy”, przykładowo: *„(...) rzędu kilkuset Hz a nawet kilku kHz.”* (strona 18), *„(...) także gdy (...)”* (strona 37),
 - niepotrzebna spacja przed oznaczeniem stopni w *„ $\alpha_H = 90^\circ$ ”* (strona 40),
2. zapis oznaczeń użytych w tekście i równaniach: symbole zmiennych zapisuje się kursywą, natomiast indeksy zapisuje się tekstem prostym; przykładowo powinno być: $B_b(H)$ a nie $B_b(H)$, $\mu = B/H$ a nie $\mu = B/H$,
3. w „Wykazie ważniejszych oznaczeń” (strona 8) jako oznaczenie indukcji magnetycznej dla narastającej i malejącej wartości pola magnetycznego zdefiniowano identyczny symbol $B_r(H)$,
4. równania stanowią część zdania, należy więc po nich umieszczać znaki interpunkcyjne typu kropka lub przecinek, jeżeli po równaniu występuje dalsza część zdania (na przykład objaśnienia użytych symboli),

5. w opisie pod rysunkiem 3.2 użyto oznaczenia indukcji remanentu B_{res} , które nie jest identyczne z oznaczeniem B_r użytym na rysunku i wskazanym w wykazie na początku rozprawy,
6. w akapicie na stronie 22 zaczynającym się od słów „Zależność (3.2) jest (...)” użyto innej interlinii niż w tekście powyżej i poniżej wskazanego akapitu,
7. w tekście nie należy stosować skrótów typu „na rys. 3.1” (strona 20 i kolejne), tylko pełne sformułowania „na rysunku” (jak właściwie zastosowano na stronie 32 i 64),
8. uchybienia stylistyczne oraz nieprecyzyjne/niefortunne sformułowania, przykładowo:
 - „pętlami histerezy wyznaczonymi pomiarowo wybranej blachy transformatorowej” (strona 6); brakuje „dla” przed „wybranej blachy transformatorowej”,
 - „(...) zmiany pochodnych odpowiadających składowych natężenia pola.” (strona 55),
 - „Przedstawiono niemierzalne zmiany indukcji (...)” (strona 73).

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

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który dotyczy modelowania procesu magnesowania i zmian indukcji magnetycznej w blachach transformatorowych z uwzględnieniem histerezy magnetycznej i zjawiska nasycenia. Tym samym tematyka pracy wpisuje się w zakres dyscypliny naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Recenzowana rozprawa doktorska potwierdza umiejętności i predyspozycje Doktoranta do 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. Michała Sierżęgi pt. „Wyznaczanie rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych z uwzględnieniem histerezy magnetycznej” **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 wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Sierżęgi pt. „Wyznaczanie rozkładu pola magnetycznego w blachach transformatorowych z uwzględnieniem histerezy magnetycznej” do publicznej obrony.

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