

dr inż. Mariusz Najgebauer

Instytut Elektroenergetyki

Wydział Elektryczny

Politechnika Częstochowska

ZAŁĄCZNIK 2A

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Mariusz Najgebauer

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

Magister inżynier elektryk, specjalność Elektroenergetyka, Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska, 2001.

Doktor nauk technicznych. Dziedzina nauki: nauki techniczne. Dyscyplina naukowa: Elektrotechnika. Specjalność: Elektrotechnika. Stopień nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej w dniu 20.12.2007 r. na podstawie rozprawy pt. „Funkcja skalowania w opisie strat energii w materiałach magnetycznie miękkich”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 01.10.2001 r. do 30.09.2008 r. zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej.

Od 01.10.2008 r. do chwili obecnej zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy 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.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Cykl publikacji powiązanych tematycznie pod wspólną nazwą: „**Opis, analiza i predykcja wybranych właściwości materiałów magnetycznie miękkich z zastosowaniem nowych algorytmów skalowania**” – cykl zawiera łącznie 10 publikacji.

b) Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

1. Szczygłowski J., Kopciuszewski P., Chwastek K., **Najgebauer M.**, Wilczyński W., 2010, Poprawa dokładności predykcji strat energii w materiałach magnetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 86, nr 4, s. 45-47

Punkty MNiSW = 13; IF(2010) = 0,242; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

2. Szczygłowski J., Kopciuszewski P., Chwastek K., **Najgebauer M.**, Wilczyński W., 2011, The accuracy of loss prediction in magnetic materials, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 60, nr 1, s. 59-66

Punkty MNiSW = 6; Artykuł indeksowany w bazach: SCOPUS.

3. **Najgebauer M.**, 2015, The concept of scaling analysis describing the properties of soft magnets, *Solid State Phenomena*, vols. 220-221, s. 646-651
Artykuł indeksowany w bazach: SCOPUS.
4. **Najgebauer M.**, Sokalski K., Szczygłowski J., 2015, The modified procedures in coercivity scaling, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 64, nr 3, s. 351-359
Punkty MNiSW = 15; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.
5. **Najgebauer M.**, 2015, Application of fractional scaling in modelling of magnetic power losses, *Acta Physica Polonica A*, vol. 128, no.1, s. 107-110
Punkty MNiSW = 15; IF(2015) = 0,525; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.
6. Gozdur R., **Najgebauer M.**, 2015, Measurements and scaling analysis of power losses in La-containing alloys, *Journal of Electrical Engineering - Electrotechnický časopis*, vol. 66, nr 7/s, s. 37-40
Punkty MNiSW = 15; IF(2015) = 0,407; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science.
7. **Najgebauer M.**, 2017, Fractional scaling of magnetic coercivity in electrical steels, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 4, s. 633-635
Punkty MNiSW = 15; IF(2017) = 0,525; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.
8. Gozdur R., Chwastek K., **Najgebauer M.**, Lebioda M., Bernacki Ł., Wodzyński A., 2017, Scaling of anhysteretic curves for LaFeCoSi alloy near the transition point, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 4, s. 801-803
Punkty MNiSW = 15; IF(2017) = 0,525; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.
9. **Najgebauer M.**, 2017, Scaling-based analysis and modelling of power losses in amorphous and nanocrystalline alloys, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 5, s. 1025-1027
Punkty MNiSW = 15; IF(2017) = 0,525; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.
10. **Najgebauer M.**, 2017, Scaling-based prediction of magnetic anisotropy in grain-oriented steel, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 66, nr 2, s. 423-432
Punkty MNiSW = 15; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

c) Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników wraz z ich ewentualnym wykorzystaniem praktycznym

Analiza i predykcja właściwości materiałów magnetycznie miękkich jest istotnym zagadnieniem zarówno w aspekcie poznawczym, jak również utylitarnym, gdyż umożliwia poprawne zaprojektowanie i wykonanie obwodów magnetycznych urządzeń elektrycznych. Produkcja wysokosprawnych urządzeń elektrycznych (transformatory, maszyny elektryczne) zawierających obwody magnetyczne wymaga stosowania do ich produkcji materiałów magnetycznych o wysokiej indukcji magnetycznej i jak najmniejszej stratności.

Prace prowadzone w tym zakresie w czołowych ośrodkach naukowych na

świecie dotyczą tworzenia nowoczesnych materiałów magnetycznych o z góry zadanych parametrach dla konkretnych zastosowań (inżynieria materiałów magnetycznych). Prowadzone na przestrzeni ostatnich lat badania nad zjawiskiem rozpraszania energii wskazują na możliwość jego występowania w różnych skalach czasowo-przestrzennych, związanych nie tylko z pojedynczymi skokami Barkhausena, ale też z ruchem ścian domenowych oraz całej struktury domenowej materiału magnetycznego. Na szczególne podkreślenia zasługują tu prace grupy badawczej z Turynu (G. Bertotti, G. Durin A. Magni i S. Zapperi), którzy w swoich pracach wielokrotnie wskazywali na konieczność uwzględnienia w opisie strat energii w materiale magnetycznym wieloskalowości procesu magnesowania. Podejście to pozwoliło na opracowanie przez G. Bertottiego statystycznego modelu rozpraszania energii wyrażonego w postaci następującej zależności:

$$P = c_1 f B_m^\beta + c_2 \sigma f^2 B_m^2 + 8 \sqrt{(\sigma G S V_0)} f^{1.5} B_m^{1.5}.$$

Zależność ta jest obecnie powszechnie stosowana i pozwala na separacje poszczególnych składników strat, z których każdy opisuje rozpraszanie energii w innej skali przestrzennej. W świetle uzyskanych i opublikowanych przez autora wyników nie spełnia ona kryterium wieloskalowości rozpraszania energii z uwagi na fakt, że poszczególne składniki zostały wprowadzone oddzielnie, biorąc pod uwagę tylko addytywność procesu rozpraszania energii w materiale magnetycznym.

Autor wniosku w rozprawie doktorskiej zaproponował nowe podejście do opisu i oceny wieloskalowości zjawiska rozpraszania energii w materiałach magnetycznie miękkich, oparte o teorię skalowania stosowaną w analizie zjawisk krytycznych. W podstawowej formie teoria skalowania została zaproponowana przez B. Widoma do opisu zjawisk krytycznych oraz przejść fazowych. Teoria ta pozwala na uzyskanie *praw skalowania* oraz *kolapsu danych*. Prawa skalowania określają relację pomiędzy wykładnikami krytycznymi, co pozwala na zmniejszenie liczby niezależnych parametrów opisujących zjawiska krytyczne. Natomiast kolaps danych pozwala zredukować płaszczyznę danych pomiarowych do pojedynczej uniwersalnej krzywej, danej w wyskalowanych współrzędnych. Teoria skalowania, mimo iż zaproponowana do analizy zjawisk krytycznych, znalazła zastosowanie również w analizie zjawisk odległych od punktu krytycznego, między innymi w ekologii, ekonomii czy socjologii. Teoria skalowania Widoma zakłada, że zależność funkcyjna opisująca analizowane zjawisko w ogólnej postaci $F = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ jest funkcją jednorodną w sensie uogólnionym, którą definiuje się następująco:

$$\exists a_{1\dots n}, p: \forall \lambda > 0 \quad \lambda^p f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(\lambda^{a_1} x_1, \lambda^{a_2} x_2, \dots, \lambda^{a_n} x_n)$$

gdzie: $x_1 \dots x_n$ oznaczają zmienne, $a_1 \dots a_n$ i p są wykładnikami skalowania.

W rozprawie doktorskiej autor wniosku przyjął, że stratność materiału jest funkcją częstotliwości f i indukcji maksymalnej B_m w postaci $P = F(f, B_m)$. Stosując teorię skalowania uzyskano następującą zależność opisującą stratność:

$$P_B = c_1 f_B + c_2 f_B^2, \quad P_B = P/B_m^\beta, \quad f_B = f/B_m^\alpha,$$

gdzie: P_B, f_B oznaczają stratność oraz częstotliwość wyskalowaną względem indukcji,

$c_{1,2}$ są parametrami skalowania, a α i β są wykładnikami skalowania. Przydatność powyższych zależności została wykazana w analizie stratności dla materiałów magnetycznie miękkich o różnych strukturach wewnętrznych: krystalicznej, amorficznej i nanokrystalicznej. Dla wszystkich analizowanych struktur materiałów magnetycznych uzyskano kolaps danych pomiarowych, jak również określono uniwersalną relację pomiędzy wykładnikami skalowania w postaci $\beta = 1,35\alpha + 1,75$.

Autor wniosku po uzyskaniu stopnia doktora prowadził dalsze badania dotyczące zastosowania teorii skalowania do analizy i predykcji wybranych właściwości materiałów magnetycznie miękkich, jak zjawisko koercji oraz anizotropii, w wyniku których możliwe jest wyodrębnienie z jego dorobku naukowego 10 powiązanych tematycznie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego. Po doktoracie badania prowadzone przez autora wniosku zostały znacząco rozszerzone. W rezultacie badań autor:

- opracował nowe algorytmy skalowania, różniące się od algorytmu przedstawionego w rozprawie doktorskiej, w celu poprawy dokładności dopasowania otrzymanych zależności do danych pomiarowych,
- wykorzystał teorię skalowania w analizie właściwości materiałów magnetycznych, takich jak koercja i anizotropia magnetyczna, w celu ich opisu i wykazania ich wieloskalowości,
- przetestował opracowane algorytmy skalowania dla nowych jakościowo materiałów magnetycznie miękkich: blach elektrotechnicznych o wysokiej zawartości krzemu oraz stopów magnetokalorycznych, w celu uogólnienia otrzymanych wyników,
- opracował hybrydową metodę predykcji wybranych właściwości materiałów magnetycznych, łączącej teorię skalowania z metodą Orientation Distribution Functions (ODFs).

Stratność w materiałach magnetycznych jest zazwyczaj mierzona w funkcji częstotliwości pola magnesującego, dla określonych wartości indukcji maksymalnej. Ze względu na stosunkowo małą liczbę dostępnych punktów pomiarowych i ich nierównomierny rozkład, dopasowanie danych pomiarowych do zależności opisujących analizowane zjawisko jest obarczone znacznymi błędami. W celu ograniczenia tego efektu w pracy [1], z cyklu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, zaproponowano generację dodatkowych punktów (f, P) z zastosowaniem technik bootstrapowych opartych o metodę Monte Carlo. Autor wniosku zaproponował włączenie do algorytmu predykcji stratności empirycznej zależności funkcyjnej opisującej krzywe stratności, otrzymanej z teorii skalowania. Zaproponowane podejście zostało przetestowane dla blach elektrotechnicznych o strukturze orientowanej oraz nieorientowanej, dla których wygenerowano statystycznie dodatkowe punkty, co w efekcie pozwoliło na uzyskanie ich równomiernego rozkładu i znaczące obniżenie błędów dopasowania. Podejście to zostało rozwinięte w pracy [2], w której proces generacji punktów przeprowadzono niezależnie w dwóch płaszczyznach (f, P) i (B_m, P) . Autor wniosku wprowadził dodatkową modyfikację do algorytmu predykcji krzywych stratności, polegającą na

uwzględnieniu w nim relacji pomiędzy wykładnikami skalowania α i β , co pozwoliło na zmniejszenie liczby wykładników, uproszczenie algorytmu i zmniejszenie błędów dopasowania.

W celu uogólnienia otrzymanych wyników dotyczących wieloskalowości rozpraszania energii w materiałach magnetycznie miękkich, autor wniosku wykazał możliwość zastosowania teorii skalowania do opisu i analizy różnych właściwości materiałów magnetycznie miękkich. W pracy [3] autor zastosował teorię skalowania do analizy koercji magnetycznej w blachach wysokokrzemowych oraz stopach Ni-Fe. Otrzymane wyniki potwierdziły założenie o skalowaniu koercji magnetycznej, lecz jednocześnie wskazały na konieczność modyfikacji zastosowanego algorytmu w celu poprawy dokładności skalowania. W pracy [4] autor wniosku zaproponował i przedstawił nowy algorytm skalowania dla koercji magnetycznej, w którym zastosowano transformację z tangensem hiperbolicznym. Wykonał następnie szereg symulacji dla blachy nieorientowanej, w wyniku których otrzymał optymalną zależność opisującą koercję, tj. dającą najlepsze rezultaty skalowania przy najmniejszej liczbie parametrów. Zaproponowane podejście umożliwiło znaczącą poprawę rezultatów skalowania koercji, w porównaniu do klasycznej procedury skalowania zastosowanej w pracy [3].

Opracowane przez autora procedury skalowania, przedstawione w pracach [1-4], pozwoliły na uzyskanie zależności opisujących analizowane zjawiska, przy czym wykładnik przy zmiennej niezależnej (np. częstotliwości f) przyjmował zawsze wartości całkowite. Autor wniosku stwierdził i wykazał, że jest to ograniczenie, gdyż wiele zjawisk jest opisywanych zależnościami z wykładnikami ułamkowymi. Uwzględniając powyższe założenie autor opracował nowy algorytm skalowania, do którego wprowadził wykładnik ułamkowy oznaczony jako x . Opracowany algorytm skalowania umożliwił sformułowanie ogólnej zależności, która w szczególnym przypadku, tj. dla $x = 1$, redukuje się do postaci otrzymanej z klasycznego algorytmu Widoma. Autor wykazał skuteczność zmodyfikowanego algorytmu skalowania do opisu i predykcji krzywych stratności dla blach o strukturze orientowanej, uzyskując zgodność modelowanych krzywych stratności z danymi pomiarowymi, przy błędach procentowych nie przekraczających 10%.

Opracowany algorytm skalowania z wykładnikami ułamkowymi został zastosowany przez autora wniosku w analizie stratności w stopach magneto-kalorycznych [6], stopach amorficznych i nanokrystalicznych [9], jak też analizie koercji magnetycznej [7], gdzie również została potwierdzona jego skuteczność.

W pracy [6] autor przedstawił wyniki pomiarów straty mocy dla stopu magneto-kalorycznego LaFeCoSi, wykonane w temperaturze pokojowej ($T_1 = 293.5$ K), temperaturze bliskiej strukturalnemu przejściu fazowemu ($T_2 = 296.5$ K) i w pobliżu temperatury Curie ($T_3 = 299.5$ K). Autor potwierdził przydatność zmodyfikowanego algorytmu skalowania do opisu stratności dla badanego stopu oraz dodatkowo określił temperaturowe zależności wykładników skalowania α , β .

Autor swoimi badaniami objął też najnowocześniejsze materiały magnetyczne, takie jak stopy amorficzne i nanokrystaliczne, posiadające odmienną strukturę

w porównaniu do blach elektrotechnicznych i w których mogą dominować inne mechanizmy rozpraszania energii. W pracy [9] autor wykazał również skuteczność opracowanego algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi w predykcji krzywych stratności dla stopów amorficznych oraz nanokrystalicznych. Wykazał, że wykładnik ułamkowy x posiada wartości zależne od struktury materiału, a więc może być rozważany jako parametr skorelowany ze strukturą wewnętrzną materiału i mechanizmami rozpraszania energii.

Należy zauważyć, że zaproponowane we wcześniejszych pracach algorytmy skalowania koercji nie zapewniały zadowalających rezultatów [3] lub wymagały wprowadzenia dodatkowych parametrów [4]. W pracy [7] autor wniosku do opisu koercji magnetycznej zastosował opracowany przez siebie algorytm skalowania z wykładnikami ułamkowymi [5], uzyskując zależność częstotliwościową koercji zbliżoną do stosowanego obecnie modelu Grössingera.

Obszar implementacji opracowanego przez autora algorytmu skalowania nie ograniczał się tylko do podstawowych współczynników materiałowych, lecz również objął charakterystyki w postaci krzywej bezhisterezowej i anizotropię właściwości magnetycznych. Należy podkreślić, że krzywa bezhisterezowa pełni ważną rolę w opisie zjawisk magnesowania materiału, jak również jest istotnym składnikiem w podstawowym modelu fizycznym magnesowania Jilesa-Athertona. Ilustracją osiągnięć autora w tych rozważaniach są wyniki opublikowane w pracy [8], w której opisał krzywą bezhisterezową za pomocą funkcji Langevina, przy zastosowaniu skalowania danych pomiarowych. Badania przeprowadzono dla stopu magneto-kalorycznego LaFeCoSi w zakresie temperatur poniżej i powyżej punktu przejścia fazowego, uzyskując kolaps krzywych bezhisterezowych w obszarze ferromagnetycznym i paramagnetycznym. Wskazano także na możliwą korelację pomiędzy magnetyzacją nasycenia $M_s(T)$ i stratnością $P(T)$.

W odniesieniu do możliwości wykorzystania opracowanego przez autora algorytmu skalowania do opisu anizotropii właściwości magnetycznych, jako jednej z najważniejszych cech materiału magnetycznego, autor wniosku opracował hybrydową metodę analizy i predykcji anizotropii magnetycznej, łączącą teorię skalowania z metodą ODFs (ang. Orientation Distribution Functions), którą przedstawił w pracy [10]. Zaproponowana metoda została zweryfikowana dla blachy elektrotechnicznej o strukturze orientowanej. Autor wykazał skuteczność metody hybrydowej do predykcji anizotropii właściwości magnetycznych, w tym zależności kątowych indukcji oraz krzywych magnesowania. Wskazał również na większą uniwersalność metody hybrydowej w stosunku do istniejących modeli.

Podsumowując można stwierdzić, że uzyskane wyniki są bardzo istotne i przydatne zarówno w aspekcie poznawczym, jak również utylitarnym, gdyż pozwalają na ich aplikację w programach CAD-owskich i mogą być wykorzystane przy projektowaniu rdzeni magnetycznych transformatorów i maszyn elektrycznych.

Szczegółowy opis przeprowadzonych badań i dyskusja otrzymanych wyników są przedstawione w dalszej części wniosku.

Ad 1. Szczygłowski J., Kopciuszewski P., Chwastek K., Najgebauer M., Wilczyński W., 2010, Poprawa dokładności predykcji strat energii w materiałach magnetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 86, nr 4, s. 45-47

Podstawowym parametrem w projektowaniu oraz analizie pracy obwodów magnetycznych urządzeń elektrycznych jest stratność materiału zastosowanego w ich konstrukcji. Wartość stratności materiałów magnetycznych jest podawana w katalogach producentów, zazwyczaj przy określonych wartościach indukcji oraz częstotliwości. Producenci materiałów podają często zależności empiryczne opisujące stratność materiału jako funkcję maksymalnej indukcji i częstotliwości pola magnesującego materiał, które pozwalają na predykcję stratności dla innych warunków pracy. Najczęściej są to zależności w postaci funkcji potęgowych, na przykład:

$$P = c f^\alpha B_m^\beta,$$

gdzie: c jest stałą charakterystyczną dla danego materiału, a α i β są wykładnikami wyznaczonymi z danych eksperymentalnych. W analizie stratności stosuje się także bardziej rozbudowane zależności pół-empiryczne, spośród których najbardziej znana jest formuła zaproponowana przez G. Bertottiego w postaci:

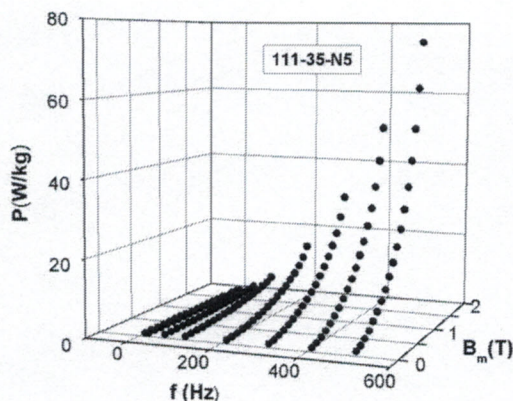
$$P = c_1 f B_m^\beta + c_2 f^2 B_m^2 + c_3 f^{1,5} B_m^{1,5},$$

gdzie: $c_{1...3}$ są współczynnikami związanymi z właściwościami i strukturą materiału.

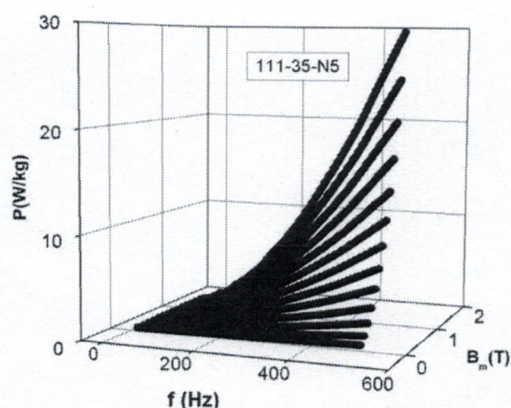
Autor wniosku zaproponował zastosowanie w badaniach otrzymanej z teorii skalowania zależności funkcyjnej opisującej krzywe stratności, uwzględniającej wieloskalowość rozpraszania energii w różnych skalach czasowo-przestrzennych w postaci:

$$P = c_1 f B_m^{(\beta-\alpha)} + c_2 f^2 B_m^{(\beta-2\alpha)},$$

gdzie: α i β są tzw. wykładnikami skalowania a $c_{1,2}$ współczynnikami, wyznaczonymi z danych pomiarowych. Bardzo często w estymacji współczynników dysponuje się stosunkowo małą ilością punktów pomiarowych przy jednocześnie występującym ich nierównomiernym rozkładzie. Powoduje to, że dopasowanie powyższej zależności do danych pomiarowych może być obarczone błędami, których poziom uniemożliwia ich wykorzystanie w programach CAD-owskich. W celu poprawy dopasowania krzywej stratności do danych pomiarowych, w pracy zaproponowano obniżenie błędów dopasowania poprzez generację dodatkowych punktów z zastosowaniem technik bootstrapowych opartych o metodę Monte Carlo. Dodatkowe punkty były generowane dla ustalonych wartości indukcji maksymalnej. Zaproponowane podejście zostało przetestowane na blachach elektrotechnicznych o strukturze orientowanej i nieorientowanej, dla których wygenerowano ponad 50 tysięcy dodatkowych punktów, co pozwoliło uzyskać równomierny rozkład wartości wektora (B_m, f) w całym zakresie danych eksperymentalnych (rys. 1 i rys. 2).



Rys. 1. Rozkład punktów pomiarowych dla blachy orientowanej



Rys. 2. Rozkład punktów pomiarowych i punktów wygenerowanych statystycznie dla blachy orientowanej

Następnie dla obu powyższych przypadków przeprowadzono estymację parametrów, jak również oceniono jakość estymacji oraz błędy dopasowania krzywych stratności do danych pomiarowych.

Reasumując, rezultatem badań było opracowanie metody pozwalającej na generację dodatkowych danych w celu uzyskania równomiernego rozkładu punktów w całym zakresie danych eksperymentalnych. Uwzględnienie wygenerowanych punktów w procesie estymacji parametrów pozwoliło na znaczące zwiększenie dokładności estymacji oraz zmniejszenie błędów dopasowania.

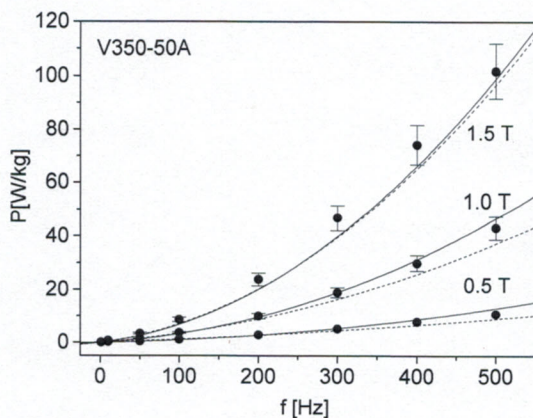
Ad 2. Szczygłowski J., Kopciuszewski P., Chwastek K., Najgebauer M., Wilczyński W., 2011, The accuracy of loss prediction in magnetic materials, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 60, nr 1, s. 59-66

W pracy przedstawiono wyniki dalszych badań dotyczących możliwości poprawy dokładności predykcji stratności w materiałach magnetycznych, przedstawionych w poprzedniej pracy [1]. Autor wniosku zaproponował uwzględnienie w algorytmie predykcji krzywych stratności wyrażonych formułą:

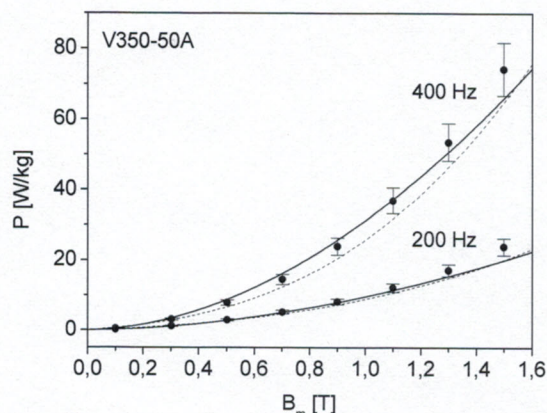
$$P = c_1 f B_m^{(\beta-\alpha)} + c_2 f^2 B_m^{(\beta-2\alpha)},$$

zależności pomiędzy wykładnikami skalowania α i β w postaci $\beta = 1,35\alpha + 1,75$. Stosunkowo mała liczba punktów pomiarowych i ich nierównomierne rozmieszczenie jest przyczyną wystąpienia zakresów zmiennych f i B_m o lepszym i gorszym poziomie dopasowania krzywej stratności do danych pomiarowych. Jak wykazano w pracy [1], efekt ten można ograniczyć stosując statystyczne dołosowanie punktów pomiarowych z zastosowaniem techniki bootstrapowych opartych o metodę Monte Carlo. Proces generowania dodatkowych punktów przebiegał dwuetapowo. W etapie pierwszym generowano punkty (f, P) dla ustalonych wartości indukcji B_m , a następnie proces przeprowadzono dla określonych wartości f generując punkty (B_m, P) . Uzyskano w ten sposób dla każdej próbki ponad 100 tysięcy dodatkowych punktów, co zapewniło ich równomierny rozkład. Wprowadzając do zaproponowanego algorytmu liniową relację pomiędzy wykładnikami skalowania α i β , zmniejszono

ilość estymowanych parametrów, a co za tym idzie uzyskano uproszczenie algorytmu. Estymację parametrów oraz predykcję krzywych stratności wykonano dla danych uzyskanych z pomiarów oraz dla danych z pomiarów wraz z dodatkowymi punktami (rys. 1 i rys. 2). W przypadku uwzględnienia dołosowanych danych pomiarowych w estymacji parametrów stwierdzono znaczącą poprawę dokładności predykcji krzywych stratności, zwłaszcza w zakresach niskich wartości częstotliwości i indukcji magnetycznej, w których pomiary magnetyczne są szczególnie wrażliwe na zakłócenia.



Rys. 1. Zależności $P(f)$ dla blachy NO: linia przerywana/ciągła – model bez/z dodatkowymi punktami pomiarowymi, kropki – punkty pomiarowe



Rys. 2. Zależności $P(B_m)$ dla blachy NO: linia przerywana/ciągła – model bez/z dodatkowymi punktami pomiarowymi, kropki – punkty pomiarowe

Podsumowując, rezultatem badań była ocena możliwości poprawy dokładności predykcji krzywych stratności w wyniku uwzględnienia w opracowanym algorytmie zależności pomiędzy wykładnikami skalowania α i β . Zaproponowany algorytm był testowany na przykładzie blach elektrotechnicznych. W pracy wskazano również na możliwość zastosowania zaproponowanego algorytmu do predykcji stratności dla innych materiałów magnetycznych o bardziej skomplikowanych strukturach, na przykład magnetodielektryków.

Ad 3. Najgebauer M., 2015, The concept of scaling analysis describing the properties of soft magnets, *Solid State Phenomena*, vols. 220-221, s. 646-651

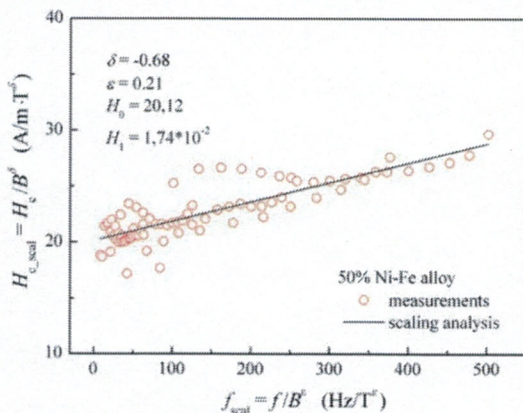
Należy podkreślić, że proces magnesowania materiałów magnetycznie miękkich jest reprezentowany graficznie przez pętle histerezy magnetycznej (tj. pętla główna oraz symetryczne i niesymetryczne pętle cząstkowe), które dostarczają informacji o właściwościach magnetycznych materiału, takich jak krzywa pierwotna i bezhisterezowa, natężenie koercji H_c , indukcja remanentu B_r i nasycenia B_s oraz starty mocy P , odpowiadające polu powierzchni pętli. We wcześniejszych badaniach autor wniosku z sukcesem zastosował teorię skalowania do opisu stratności w materiałach magnetycznie miękkich. Uzyskane rezultaty były przesłankami do dalszych prac nad możliwością wykorzystania algorytmu skalowania do opisu innych wielkości charakteryzujących pętle, jak natężenie koercji i krzywa bezhisterezowa.

W omawianej pracy autor wniosku przedstawił wyniki badań dotyczące zastosowania teorii skalowania nie tylko do opisu stratności nowoczesnego materiału w postaci blachy elektrotechnicznej o wysokiej zawartości krzemu (6,5% Si-Fe), ale również jego koercji magnetycznej. W przypadku skalowania stratności dla blachy 6,5% Si-Fe otrzymano kolaps danych pomiarowych, a wyestymowane wykładniki skalowania α i β potwierdziły uzyskaną przez autora we wcześniejszych badaniach uniwersalną zależność w postaci $\beta = 1,35\alpha + 1,75$.

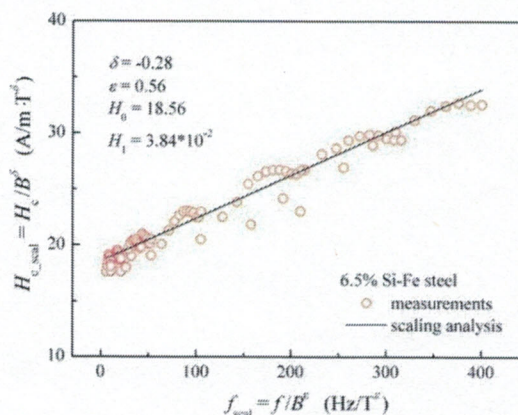
W analizie koercji magnetycznej przyjęto, że jest ona funkcją częstotliwości pola magnesującego f oraz indukcji magnetycznej B , w postaci $H_c = h(f, B)$. Uwzględniając w opracowanym algorytmie skalowania zaproponowaną przez Grössingera funkcję opisującą koercję magnetyczną, otrzymano następującą zależność w postaci:

$$H_{c_scal} = H_0 + H_1 f_{scal}, \quad H_{c_scal} = H_c / B^\delta, \quad f_{scal} = f / B^\epsilon,$$

gdzie: H_{c_scal} , f_{scal} oznaczają natężenie koercji i częstotliwość wyskalowaną względem indukcji magnetycznej, δ i ϵ są wykładnikami skalowania, a $H_{0,1}$ są amplitudami. Powyższa zależność została zastosowana w skalowaniu koercji magnetycznej dla blachy wysokokrzemowej 6.5% Si-Fe oraz permaloju 50% Ni-Fe (rys. 1 i rys. 2). Dla analizowanych materiałów uzyskano częściowy kolaps danych pomiarowych, to znaczy występujący w ograniczonym zakresie zmian wartości indukcji magnetycznej oraz częstotliwości pola magnesującego materiał. Wskazało to na konieczność modyfikacji zastosowanego algorytmu skalowania w celu ograniczenia błędów dopasowania.



Rys. 1. Kolaps danych pomiarowych dla stopu 50% Ni-Fe



Rys. 2. Kolaps danych pomiarowych dla blachy 6,5% Si-Fe

Reasumując, wynikiem badań było opracowanie metody opisu koercji magnetycznej z zastosowaniem algorytmu skalowania, jak również wykazanie jego przydatności na przykładzie stopu 50% Ni-Fe i blachy wysokokrzemowej 6,5% Si-Fe.

Ad 4. Najgebauer M., Sokalski K., Szczygłowski J., 2015, The modified procedures in coercivity scaling, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 64, nr 3, s. 351-359

Natężenie koercji jest istotnym parametrem charakteryzującym materiały magnetyczne, którego wartość pozwala na podział materiałów na miękkie, pół-

d

miękkie oraz twarde magnetycznie. Stosowana obecnie zależność R. Grössingera opisująca koercję magnetyczną ma postać

$$H_c(f) = H_0 + B \cdot (H_0 \cdot f)^{1/n},$$

gdzie: H_0 jest koercją w warunkach statycznych, B i n ($n = 1 \dots 3$) są współczynnikami zależnymi od mikrostruktury oraz geometrii próbki.

W omówionej wcześniej pracy [3] autor wniosku wykonał analizę koercji magnetycznej wykorzystując algorytm skalowania Widoma. Otrzymane rezultaty skalowania koercji nie były w pełni satysfakcjonujące. Było to przyczynkiem do opracowania algorytmu skalowania, do którego włączono transformację z tangensem hiperbolicznym w postaci:

$$H_c \rightarrow \sum_i a_i \cdot (\tanh(d \cdot H_c - r_i))^i,$$

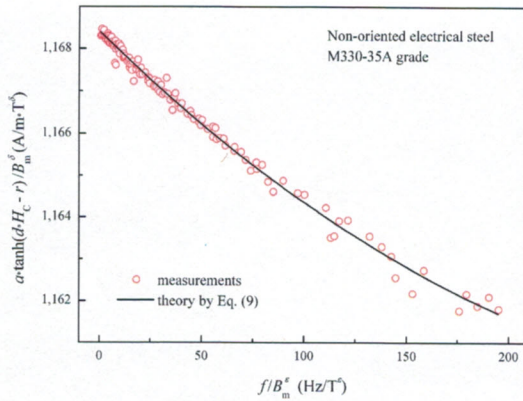
gdzie: a_i , r_i i d są parametrami. Uwzględniając powyższą relację, autor otrzymał następującą zależność:

$$\frac{\sum_i a_i \cdot (\tanh(d \cdot H_c - r_i))^{i(1-x)}}{B_m^\delta} = H_0 + \sum_j H_j \cdot \left(\frac{f}{B_m^\varepsilon} \right)^{j(1-z)},$$

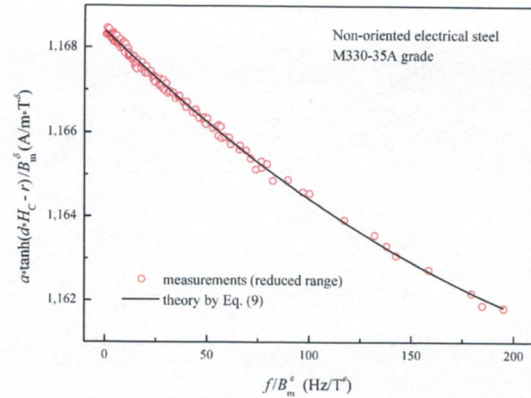
w której x i z są tzw. parametrami korygującymi, a j oznacza liczbę członów szeregu Maclaurina uwzględnionych w obliczeniach. Powyższa zależność została przez autora zastosowana w skalowaniu natężenia koercji dla blachy elektrotechnicznej o zawartości krzemu 3% i nieorientowanej strukturze. Wartości współczynników estymowano metodą najmniejszych kwadratów, zaimplementowaną w środowisku Microsoft Excel oraz Fortran. Struktura matematyczna powyższej zależności pozwala na generowanie mniej lub bardziej skomplikowanych formuł skalowania, o różnej liczbie parametrów. Autor przeprowadził szereg symulacji w celu określenia optymalnej struktury powyższej zależności, czyli takiej która daje najniższe błędy w procedurze skalowania przy jak najmniejszej ilości estymowanych parametrów. Wykazał, że optymalna jest formuła w postaci:

$$\frac{a \cdot \tanh(d \cdot H_c - r)}{B_m^\delta} = H_0 + H_1 \cdot \left(\frac{f}{B_m^\varepsilon} \right) + H_2 \cdot \left(\frac{f}{B_m^\varepsilon} \right)^2.$$

W zależności nie zostały uwzględnione parametry korygujące x i z , gdyż ich wartości były pomijalnie małe i nie wносиły istotnych informacji do opisu. Zastosowanie powyższej zależności pozwoliło na uzyskanie kolapsu danych pomiarowych (rys. 1). W przypadku nielicznych punktów autor stwierdził odstępstwa od krzywej kolapsu, zwłaszcza w zakresie wyższych wartości wyskalowanej częstotliwości, co mogło być spowodowane większymi błędami pomiarowymi. Po ich usunięciu uzyskano dalszą poprawę dokładności skalowania (rys. 2).



Rys. 1. Kolaps pełnych danych pomiarowych dla blachy nieorientowanej



Rys. 2. Kolaps zredukowanych danych pomiarowych dla blachy nieorientowanej

Podsumowując, w omawianej pracy opracowano nowy algorytm skalowania koercji magnetycznej, oparty o transformację wykorzystującą tangens hiperboliczny. Określono optymalną strukturę zależności stosowanej w skalowaniu koercji. W rezultacie zastosowania opracowanego algorytmu uzyskano poprawę dokładności skalowania natężenia koercji, w porównaniu do klasycznego algorytmu, co wykazano na przykładzie blachy o strukturze nieorientowanej.

Ad 5. Najgebauer M., 2015, Application of fractional scaling in modelling of magnetic power losses, *Acta Physica Polonica A*, vol. 128, no.1, s. 107-110

Straty energii w materiałach magnetycznie miękkich, związane ze zjawiskiem histerezy magnetycznej i przepływem prądów wirowych, są najczęściej opisywane zależnością zaproponowaną przez G. Bertottiego w postaci:

$$P_{tot} = c_1 B_m^k f + c_2 (B_m f)^2 + c_3 (B_m f)^{3/2},$$

w której poszczególne człony odpowiadają odpowiednio stratom histerezowym, klasycznym stratom wiropądowym oraz stratom nadmiarowym. B.D. Cullity oraz E.C. Snelling zaproponowali inny opis strat energii w tych materiałach za pomocą funkcji potęgowej z wykładnikami mogącymi przyjmować wartości ułamkowe:

$$P_{tot} = k B_m^\beta f^\alpha.$$

Należy zauważyć, że w przypadku klasycznego algorytmu skalowania Widoma otrzymuje się zależność opisującą wyskalowane straty w postaci, w której wykładniki przy częstotliwości f_B przyjmują wyłącznie wartości całkowite:

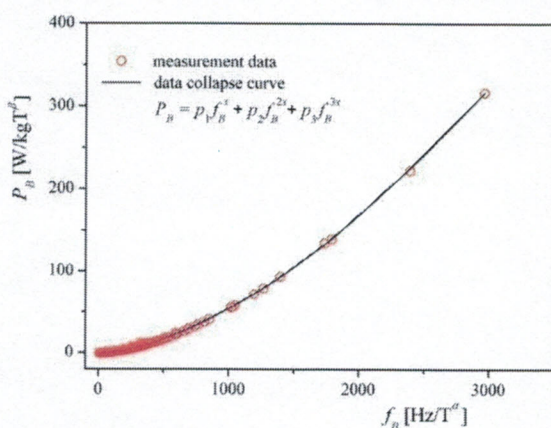
$$P_B = p_1 f_B + p_2 f_B^2 + p_3 f_B^3 + \dots,$$

gdzie: P_B i f_B oznaczają stratność i częstotliwość wyskalowaną względem indukcji B_m , a $p_{1,2,3\dots}$ są parametrami skalowania. W celu uogólnienia wcześniej opracowanego algorytmu skalowania, autor wniosku wprowadził do niego wykładnik ułamkowy x w postaci:

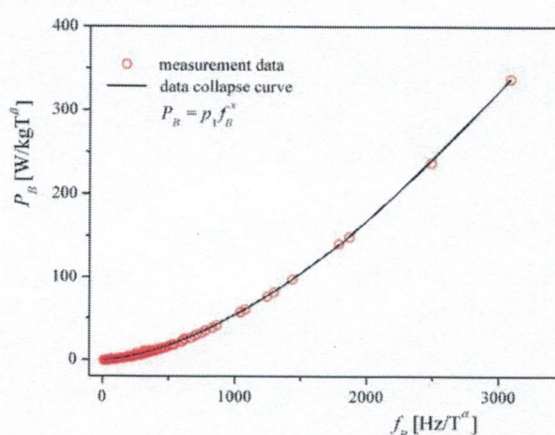
$$P_B = p_1 f_B^x + p_2 f_B^{2x} + p_3 f_B^{3x} + \dots$$

Zaproponowana przez autora zależność przyjmuje wówczas postać ogólną, która w szczególnym przypadku, tj. dla $x=1$, redukuje się do klasycznej zależności rozważanej w poprzednich pracach.

Skuteczność opracowanego przez autora algorytmu skalowania została oceniona przy skalowaniu i modelowaniu krzywych stratności dla orientowanych blachach elektrotechnicznych. W celu oceny wpływu ilości członów potęgowych występujących w zaproponowanej zależności na rezultaty skalowania przeprowadzono symulacje, w których wykorzystano zależność w postaci trójskładnikowej, dwuskładnikowej i jednoskładnikowej (pojedynczej funkcji potęgowej). We wszystkich przypadkach uzyskano bardzo zbliżone rezultaty skalowania, tj. kolaps danych pomiarowych (rys. 1 i rys. 2), charakteryzujące się podobnym poziomem błędów dopasowania. Uzyskane rezultaty potwierdziły skuteczność zaproponowanego algorytmu skalowania w analizie stratności dla blachach elektrotechnicznych.



Rys. 1. Kolaps danych pomiarowych dla formuły trójskładnikowej

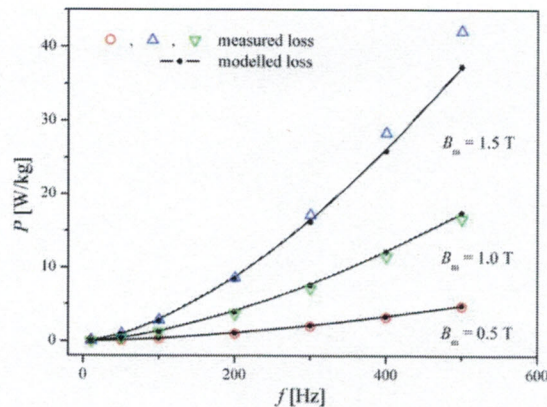


Rys. 2. Kolaps danych pomiarowych dla formuły jednoskładnikowej

W dalszych badaniach mających na celu ocenę możliwości zastosowania opracowanego algorytmu skalowania do predykcji strat energii w materiałach magnetycznie miękkich, autor wniosku wykorzystał zależność w postaci:

$$P_{\text{tot}} = pB_m^y f^x,$$

gdzie: $y = \beta - \alpha x$, α i β są wykładnikami skalowania, x jest wykładnikiem ułamkowym, a p jest parametrem skalowania. Powyższa zależność charakteryzuje się najmniejszą ilością nieznanymi parametrów, co pozwala na jej implementację w obliczeniach numerycznych. Predykcja krzywych stratności dla blachy elektrotechnicznej o strukturze orientowanej dała zgodność z danymi pomiarowymi, przy błędach nie przekraczających 10% (Rys. 3).



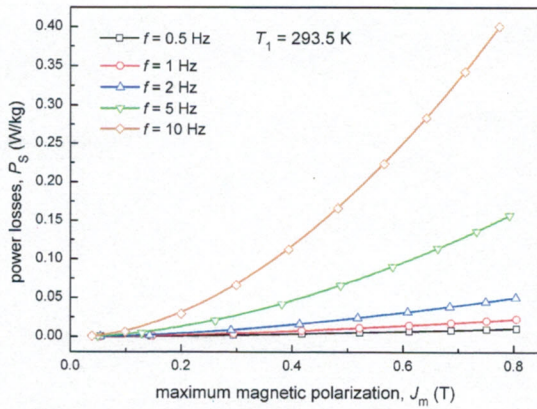
Rys. 3. Modelowanie krzywych stratności dla orientowanej blachy elektrotechnicznej

Reasumując należy stwierdzić, że rezultatem badań było zaproponowanie istotnej modyfikacji wcześniej opracowanego algorytmu skalowania, polegającej na wprowadzeniu do niego wykładnika ułamkowego x . Dało to możliwość opisu stratności za pomocą prostej zależności w postaci funkcji potęgowej. Skuteczność zaproponowanego algorytmu została potwierdzona w analizie oraz predykcji stratności dla blachy elektrotechnicznej o strukturze orientowanej. Wskazano ponadto na możliwość interpretacji wykładnika ułamkowego x jako parametru związanego z mechanizmem rozpraszania energii w materiałach magnetycznych.

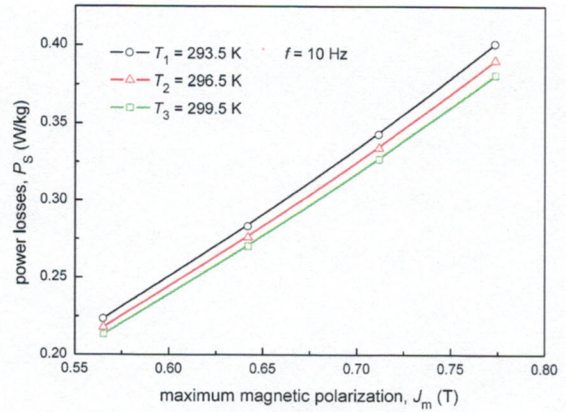
Ad 6. Gozdur R., Najgebauer M., 2015, Measurements and scaling analysis of power losses in La-containing alloys, *Journal of Electrical Engineering - Electrotechnický časopis*, vol. 66, nr 7/s, s. 37-40

Opracowany przez autora algorytmu skalowania został przetestowany dla stopów magnetokalorycznych, w celu wykazania jego uniwersalności. Materiały te wykazują efekt magnetokaloryczny polegający na gwałtownym obniżeniu ich temperatury pod wpływem pola magnetycznego. Stopy magnetokaloryczne na bazie La, na przykład $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{Si}_{1-x-y})_{13}$, charakteryzują się występowaniem efektu magnetokalorycznego w szerokim zakresie temperatur, obejmującym również temperatury pokojowe, co daje możliwość ich zastosowania w magnetycznych systemach chłodzących. Znajomość procesów magnesowania oraz strat mocy w tych materiałach jest istotna w procesie projektowania nowoczesnych, magnetycznych systemów chłodzących.

W pracy autor przedstawił wyniki pomiarów oraz analizę strat mocy dla stopów magnetokalorycznych LaFeCoSi. Pomiary wykonano na próbce o wymiarach 17 x 40 x 5 mm zgodnie ze międzynarodowymi standardami IEC 60404-6:2004 w temperaturze pokojowej ($T_1 = 293.5 \text{ K}$), temperaturze bliskiej strukturalnemu przejściu fazowemu ($T_2 = 296.5 \text{ K}$) oraz pobliżu temperatury Curie ($T_3 = 299.5 \text{ K}$), co pozwoliło na ocenę wpływu temperatury na straty mocy (rys. 1 i rys. 2).



Rys. 1. Straty mocy dla stopu $\text{LaFe}_{10.8}\text{Co}_{1.1}\text{Si}_{1.1}$ zmierzone w temperaturze $T_1 = 293.5 \text{ K}$

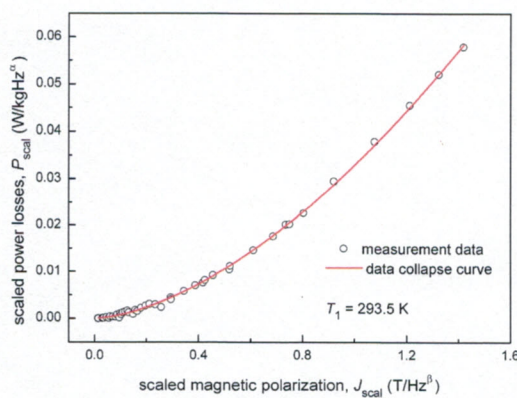


Rys. 2. Wpływ temperatury na straty mocy dla stopu $\text{LaFe}_{10.8}\text{Co}_{1.1}\text{Si}_{1.1}$

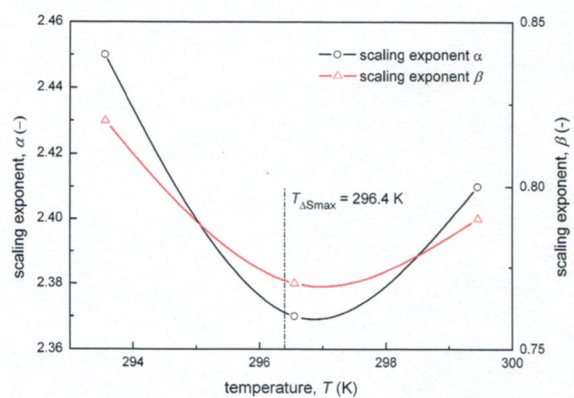
Autor wykonał analizę strat mocy dla stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi z zastosowaniem opracowanego przez niego algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi [5]. Przyjął, że stratność w badanym stopie jest funkcją potęgową polaryzacji magnetycznej J_m oraz częstotliwości f . W wyniku zastosowania algorytmu skalowania uzyskano następującą zależność:

$$P_{\text{scal}} = p(J_{\text{scal}})^x, P_{\text{scal}} = P_S / f^\alpha, J_{\text{scal}} = J_m / f^\beta,$$

gdzie: P_{scal} , J_{scal} oznaczają stary mocy i polaryzację magnetyczną wyskalowaną względem częstotliwości, α i β są wykładnikami skalowania, a x jest wykładnikiem ułamkowym. Zgodnie z teorią skalowania, uzyskano kolaps danych pomiarowych do pojedynczej krzywej (rys. 3) dla każdej temperatury pomiarowej $T_{1,2,3}$. Stwierdzono, że wykładnik ułamkowy x ma wartość stałą dla wszystkich temperatur, więc może być rozważany jako parametr materiałowy. Natomiast wykładniki skalowania α i β wykazują silną zależność temperaturową, z punktem przegięcia w otoczeniu temperatury strukturalnego przejścia fazowego (rys. 4). Zjawisko to zostało zinterpretowane jako występowanie dwóch obszarów uniwersalności, o różnych temperaturowych zależnościach funkcyjnych wykładników skalowania.



Rys. 3. Kolaps danych pomiarowych dla stopu $\text{LaFe}_{10.8}\text{Co}_{1.1}\text{Si}_{1.1}$ w temperaturze $T_1 = 293.5 \text{ K}$



Rys. 4. Charakterystyki temperaturowe wykładników skalowania α i β

Reasumując, rezultatem badań była weryfikacja eksperymentalna skuteczności opracowanego przez autora algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi

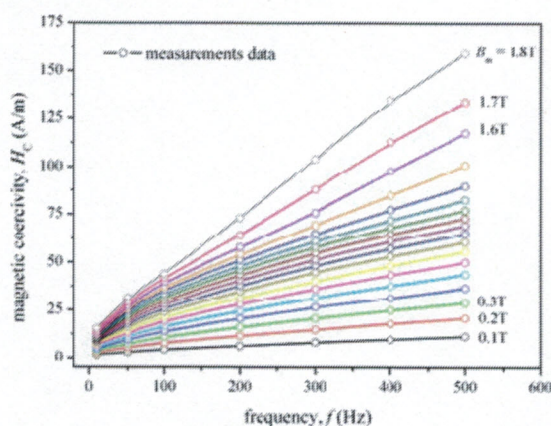
w analizie strat mocy w stopie magnetokalorycznym na bazie La, wykonana dla trzech temperatur pomiarowych. Dla każdej temperatury uzyskano kolaps danych pomiarowych, co potwierdza przydatność zastosowanego algorytmu skalowania, jak też wieloskalowość rozpraszania energii w tych stopach w różnych temperaturach. Uzyskane temperaturowe zależności wykładników skalowania α i β wskazują na występowanie w tych materiałach dwóch obszarów uniwersalności.

Ad 7. Najgebauer M., 2017, Fractional scaling of magnetic coercivity in electrical steels, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 4, s. 633-635

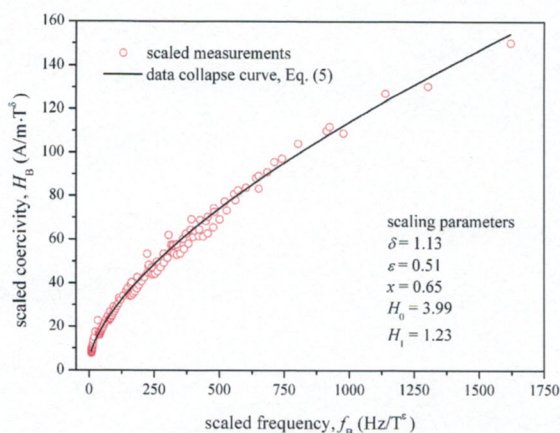
W pracy [3] autor zaproponował wykorzystanie klasycznego skalowania Widoma do opisu koercji magnetycznej. W celu poprawy dokładności skalowania koercji, w pracy [4] autor zastosował algorytm skalowania wykorzystujący transformację z tangensem hiperbolicznym. Algorytm ten poprawił rezultaty skalowania koercji magnetycznej, lecz jednocześnie wprowadził do opisu dodatkowe parametry. Uwzględniając powyższe ograniczenia, w prezentowanej pracy autor zastosował w skalowaniu koercji magnetycznej algorytm skalowania z wykładnikami ułamkowymi [5]. W rozważaniach przyjęto, że koercja magnetyczna H_C jest zależnością funkcyjną częstotliwości pola magnesującego materiał f oraz indukcji maksymalnej B_m w postaci $H_C = h(f, B_m)$. Stosując teorię skalowania oraz zależność częstotliwościową koercji zaproponowaną przez Grössingera, autor otrzymał wyskalowaną zależność opisującą koercję magnetyczną w postaci:

$$H_B = H_0 + H_1 f_B^x, \quad H_B = H_C / B_m^\delta, \quad f_B = f / B_m^\varepsilon,$$

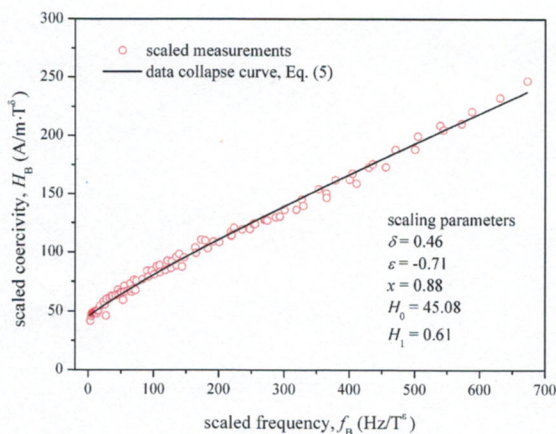
gdzie: H_B i f_B oznaczają koercję magnetyczną i częstotliwość wyskalowane względem indukcji magnetycznej, δ i ε są wykładnikami skalowania, $H_{0,1}$ są parametrami skalowania, a x jest wykładnikiem ułamkowym. Powyższa zależność została zastosowana w skalowaniu danych pomiarowych koercji magnetycznej dla komercyjnych blach elektrotechnicznych o strukturze orientowanej, nieorientowanej i mikrokrystalicznej. Dla wszystkich analizowanych materiałów uzyskano kolaps danych pomiarowych (rys. 1-3), co potwierdza użyteczność zastosowanego algorytmu skalowania.



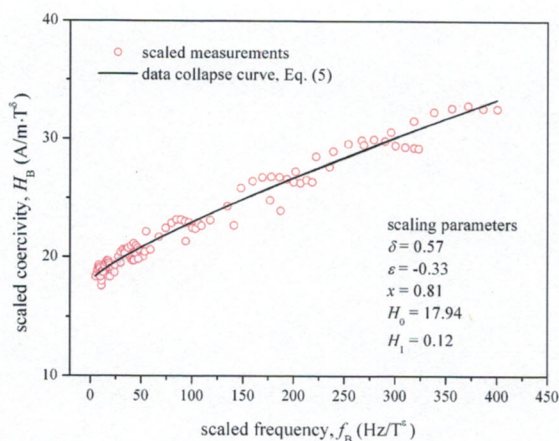
Rys. 1. Dane pomiarowe koercji magnetycznej dla blachy orientowanej



Rys. 2. Kolaps danych pomiarowych dla blachy orientowanej



Rys. 3. Kolaps danych pomiarowych dla blachy nieorientowanej



Rys. 4. Kolaps danych pomiarowych dla blachy mikrokrystalicznej

Reasumując, rezultatem badań przedstawionych w omawianej pracy było opracowanie skutecznego algorytmu skalowania koercji magnetycznej oraz jego weryfikacja eksperymentalna dla blach elektrotechnicznych o różnej strukturze. Stwierdzono, że wartości wykładnika ułamkowego x zmieniają się w zakresie od 0,65 do 0,88, w zależności od typu struktury materiału. Należy podkreślić, że wartości te mieszczą się w przedziale $0,33 \div 1$ określonym w modelu Grössingera, co dodatkowo potwierdza poprawność zaproponowanego algorytmu.

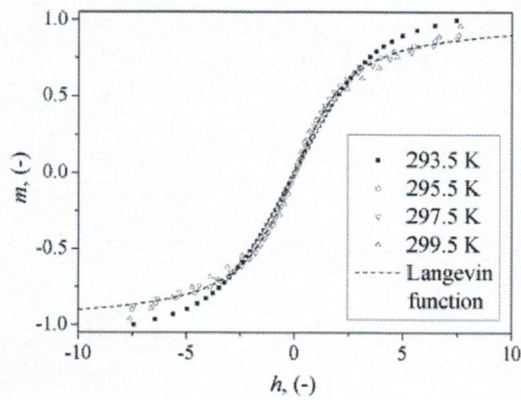
Ad 8. Gozdur R., Chwastek K., Najgebauer M., Lebioda M., Bernacki Ł., Wodzyński A., 2017, Scaling of anhysteretic curves for LaFeCoSi alloy near the transition point, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 4, s. 801-803

W pracy autor zastosował skalowanie danych pomiarowych w opisie krzywej bezhisterezowej, wykorzystywanej w modelu fizycznym pętli histerezy Jilesa-Athertona. Badania zostały przeprowadzone dla stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi. W pracy opisano szczegółowo proces przygotowania próbki, jak również przedstawiono wyniki analizy struktury materiału oraz jej składu chemicznego. Wykonano pomiary temperaturowych zależności polaryzacji magnetycznej $J(T)$, pola koercji $H_c(T)$, strat mocy $P(T)$, jak również pętli histerezy $J(H)$ w celu weryfikacji hipotezy o skalowaniu krzywych bezhisterezowych. Pomiary zostały wykonane dla temperatur od 293,5 K do 305,5 K, czyli w zakresie powyżej i poniżej punktu przejścia fazowego wynoszącego ok. 300 K. Do opisu krzywej bezhisterezowej zastosowano funkcję Langevina w postaci:

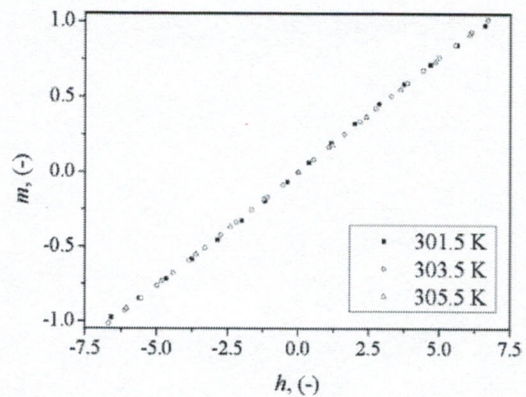
$$M_{\text{an}} = M_s(T) \left[\coth \frac{H}{a(T)} - \frac{a(T)}{H} \right],$$

w której parametr $a(T)$ jest wprost proporcjonalny do temperatury. Punkty pomiarowe oraz opis teoretyczny dany powyższą zależnością zostały przedstawione w układzie wyskalowanych współrzędnych: zredukowanej magnetyzacji $m = M_{\text{an}}/M_s$ oraz zredukowanego pola magnetycznego $h = H/T$. Punkty pomiarowe ułożyły się wokół uniwersalnych krzywych, zarówno dla obszaru ferromagnetycznego, jak

również w stanie paramagnetycznym (rys. 1 i rys. 2), co stanowi potwierdzenie hipotezy o skalowaniu krzywych bezhistereowych.

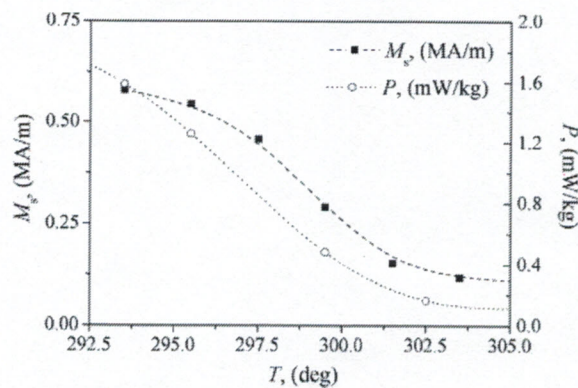


Rys. 1. Wyskalowane krzywe bezhistereowe dla temperatur poniżej przejścia fazowego



Rys. 2. Wyskalowane krzywe bezhistereowe dla temperatur powyżej przejścia fazowego

Stwierdzono również, że kształt temperaturowej zależności magnetyzacji nasycenia $M_s(T)$ jest zbliżony do kształtu temperaturowej zależności stratności $P(T)$ (rys. 3), co może wskazywać na korelację pomiędzy tymi wielkościami.



Rys. 3. Temperaturowe zależności magnetyzacji nasycenia i stratności dla stopu LaFeCoSi

Podsumowując, w pracy przedstawiono nową koncepcję opisu temperaturowych zależności krzywych bezhistereowych z wykorzystaniem funkcji Langevina oraz skalowania danych pomiarowych. Wykazano przydatność zaproponowanej koncepcji do opisu krzywych bezhistereowych dla stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi w zakresie temperatur poniżej i powyżej punktu przejścia fazowego. Ponadto wskazano na możliwą korelację pomiędzy magnetyzacją nasycenia $M_s(T)$ i stratnością $P(T)$. Zaproponowane podejście może być przyczynkiem do rozwoju analitycznych modeli opisujących właściwości magnetyczne stopów magnetokalorycznych.

Ad 9. Najgebauer M., 2017, Scaling-based analysis and modelling of power losses in amorphous and nanocrystalline alloys, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 5, s. 1025-1027

W celu wykazania przydatności opracowanego algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi [5] w opisie procesu magnesowania materiałów

magnetycznych o różnych strukturach wewnętrznych, autor wniosku przeprowadził w pracy analizę oraz modelowanie krzywych stratności dla komercyjnych materiałów magnetycznych o strukturze amorficznej i nanokrystalicznej. Dla badanych materiałów otrzymano kolaps danych pomiarowych oraz wyestymowano parametry modelu, które zostały następnie wykorzystane w modelowaniu krzywych stratności. Do opisu krzywych stratności zaproponowano zależność w postaci funkcji potęgowej:

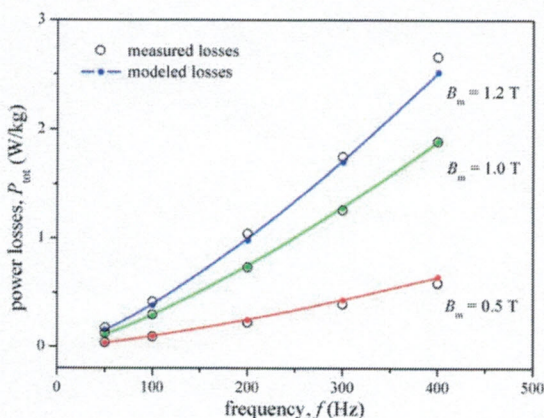
$$P_{\text{tot}} = pf^x B_m^y,$$

gdzie: $y = \beta - \alpha x$, α i β są wykładnikami skalowania, x jest wykładnikiem ułamkowym, a p jest parametrem skalowania. Dla badanych materiałów otrzymano następujące zależności opisujące stratność:

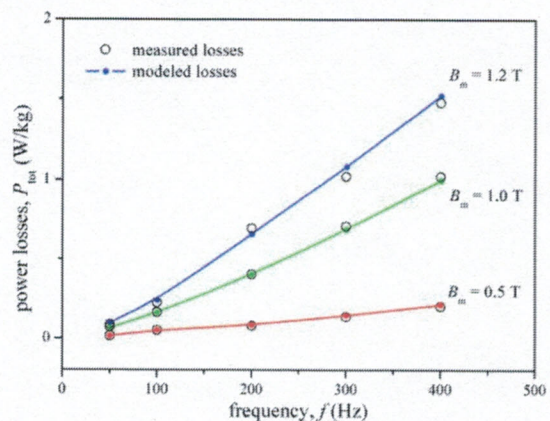
– dla stopu amorficznego: $P_{\text{tot}} = pf^{1.36} B_m^{1.57}$,

– dla stopu nanokrystalicznego: $P_{\text{tot}} = pf^{1.35} B_m^{2.24}$.

Krzywe stratności, wyznaczone z wykorzystaniem powyższych zależności, wykazały zgodność z danymi pomiarowymi, przy błędach mniejszych niż 13% (rys. 1 i rys. 2).



Rys. 1. Modelowanie krzywych stratności dla stopu amorficznego



Rys. 2. Modelowanie krzywych stratności dla stopu nanokrystalicznego

Podsumowując, rezultatem badań było wykazanie skuteczności opracowanego algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi w modelowaniu krzywych stratności dla stopów o strukturze amorficznej oraz nanokrystalicznej. Wskazano również, że wykładnik ułamkowy x posiada wartości charakterystyczne dla określonej typu materiału, co może świadczyć o jego skorelowaniu ze strukturą materiału.

Ad 10. Najgebauer M., 2017, Scaling-based prediction of magnetic anisotropy in grain-oriented steel, *Archives of Electrical Engineering*, vol. 66, nr 2, s. 423-432

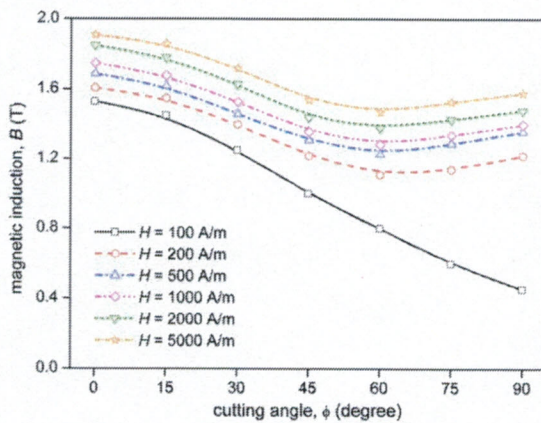
Anizotropia właściwości magnetycznych jest jedną z najistotniejszych cech materiału magnetycznego, decydującą o jego przydatności do budowy obwodów magnetycznych maszyn elektrycznych i transformatorów.

Autor wniosku opracował hybrydową metodę analizy i predykcji anizotropii magnetycznej, łączące teorię skalowania z metodą ODFs (ang. Orientation

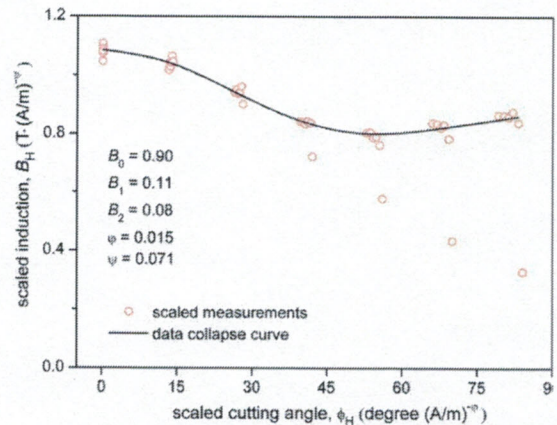
Distribution Functions), wykorzystywaną do predykcji anizotropii właściwości materiałowych. W rozważaniach założono, że indukcja magnetyczna B jest funkcją kąta wycięcia próbki ϕ i natężenia pola magnetycznego H w postaci $B = f(\phi, H)$. Następnie, stosując teorię skalowania oraz metodę ODFs, otrzymano wyskalowaną zależność kątową opisującą indukcję magnetyczną w postaci:

$$B_H = B_0 + B_1 \cos 2\phi_H + B_2 \cos 4\phi_H, \quad B_H = B/H^\psi, \quad \phi_H = \phi/H^\varphi,$$

gdzie: B_H i ϕ_H oznaczają wyskalowane wartości indukcji magnetycznej i kąta wycięcia, ψ i φ są wykładnikami skalowania. Powyższa zależność została wykorzystana w analizie anizotropii właściwości magnetycznych dla orientowanej blachy elektrotechnicznej. W tym celu wykonano pomiary kątowych zależności indukcji magnetycznej przy różnych poziomach wymuszenia, dla próbek w postaci pasków wyciętych z arkusza blachy dla następujących kątów względem kierunku walcowania $\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ i 90° (rys. 1). Następnie, stosując zaproponowaną zależność otrzymano tzw. kolaps danych pomiarowych (rys. 2.) oraz wyestymowano parametry modelu.



Rys. 1. Dane pomiarowe indukcji magnetycznej



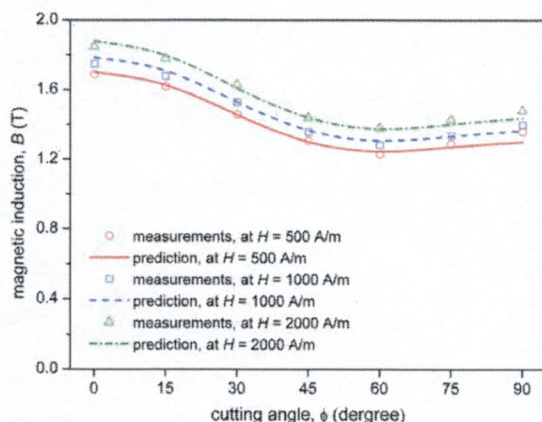
Rys. 2. Kolaps danych pomiarowych

Stwierdzono, że dla wymuszeń $H > 200$ A/m najgorsze właściwości magnetyczne występują dla kąta $\phi \approx 55^\circ$, natomiast dla $H = 100$ A/m najgorsze właściwości obserwuje się dla $\phi = 90^\circ$, co wynika z różnych mechanizmów magnesowania w tych zakresach wymuszeń. Zaobserwowano, że wyskalowane punkty pomiarowe dla $H = 100$ A/m wykazują znaczną rozbieżność względem krzywej kolapsu, co zostało zinterpretowane jako istnienie różnych klas uniwersalności dla obszarów wymuszeń poniżej oraz powyżej $H = 100$ A/m.

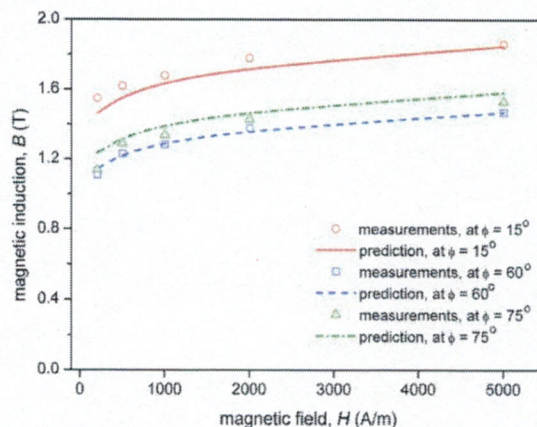
Otrzymane wyniki skalowania zostały następnie wykorzystane w predykcji anizotropii właściwości magnetycznych. W pierwszym przypadku wykonano predykcję zależności kątowych indukcji magnetycznej dla pośrednich wartości wymuszenia H , wykorzystując do estymacji parametrów dane pomiarowe dla $H_{\min} = 200$ A/m i $H_{\max} = 5000$ A/m (rys. 3). W drugim przypadku przeprowadzono predykcję krzywych magnesowania dla wybranych kątów ϕ , wykorzystując do estymacji parametrów pomiary dla $\phi = 0^\circ, 60^\circ$ i 90° , co odpowiada kierunkom: walcowania, prostopadłemu do walcowania i zbliżonemu do kierunku najgorszych

g

właściwości magnetycznych (rys. 4). W obu przypadkach otrzymano zgodność pomiędzy danymi pomiarowymi i obliczonymi, z błędami nie większymi niż odpowiednio 5% i 10%.



Rys. 3. Predykcja zależności kątowych indukcji



Rys. 4. Predykcja krzywych magnesowania

Reasumując, rezultatem badań było opracowanie hybrydowej metody analizy i predykcji anizotropii właściwości magnetycznych, łączącą teorię skalowania z metodą ODFs, jak również eksperymentalna weryfikacja jej skuteczności na przykładzie blach elektrotechnicznych o strukturze orientowanej. Wykazano również, że opracowana metoda pozwala na estymację parametrów o stałych wartościach w szerokim zakresie wymuszeń, podczas gdy w klasycznej metodzie ODFs parametry te przyjmują różne wartości i muszą być estymowane osobno dla każdej wartości wymuszenia. Uzyskane rezultaty skalowania potwierdziły wieloskalowość zjawiska anizotropii krzywej magnesowania, jak również wykazały różne klasy uniwersalności procesu magnesowania.

Podsumowanie

Przedstawiony do oceny cykl publikacji zawiera wyniki badań nad opracowaniem i eksperymentalną weryfikacją skutecznych algorytmów skalowania, stosowanych w analizie i predykcji wybranych właściwości materiałów magnetycznie miękkich, ze szczególnym uwzględnieniem nowoczesnych materiałów o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i mikrokryształicznej, jak również stopów magnetokalorycznych.

Do najważniejszych osiągnięć poznawczych i użytecznych głównego nurtu badań autor wniosku zalicza:

- wykazanie możliwości zastosowania uzyskanej z procedury skalowania zależności stratności w funkcji indukcji magnetycznej oraz częstotliwości pola magnesującego do opisu i predykcji stratności w blachach elektrotechnicznych o strukturze orientowanej i nieorientowanej, jak również możliwości poprawy dopasowania krzywych stratności do danych pomiarowych z zastosowaniem technik bootstrapowych opartych o metodę Monte Carlo [1, 2],
- wykazanie możliwości wykorzystania w opisie i predykcji stratności w blachach elektrotechnicznych zależności pomiędzy wykładnikami skalowania α i β , w celu obniżenia ilości estymowanych parametrów [2],

a

- wykazanie przydatności opracowanego algorytmu skalowania do opisu zjawiska koercji dla wybranych materiałów magnetycznie miękkich wraz z jego weryfikacją eksperymentalną [3],
- opracowanie algorytmu skalowania wykorzystującego transformację z tangensem hiperbolicznym w celu poprawy wyników skalowania koercji magnetycznej [4],
- opracowanie algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi [5],
- weryfikacja skuteczności algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi do opisu i predykcji krzywych stratności dla blach elektrotechnicznych [5], stopów magnetokalorycznych [6] oraz stopów amorficznych i nanokrystalicznych [9],
- określenie dla stopu magnetokalorycznego LaFeSiCo temperaturowych zależności wykładników skalowania α i β z punktem przegięcia w otoczeniu temperatury strukturalnego przejścia fazowego oraz wskazanie na istnienie dwóch obszarów uniwersalności dla temperatur niższych i wyższych od temperatury przejścia fazowego [6],
- opracowanie hybrydowej metody analizy koercji magnetycznej z zastosowaniem algorytmu skalowania z wykładnikami ułamkowymi i z wykorzystaniem modelu Grössingera [7],
- opracowanie metody skalowania krzywych bezhisterezowych w otoczeniu punktu przejścia fazowego i jej weryfikacja dla stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi [8],
- opracowanie hybrydowej metody analizy i predykcji anizotropii właściwości magnetycznych z zastosowaniem teorii skalowania oraz metody ODFs wraz z weryfikacją eksperymentalną skuteczności metody do predykcji zależności kątowych indukcji i krzywych magnesowania dla blachy o strukturze orientowanej.

Podsumowując, badania zrealizowane przez autora wniosku w ramach celu poznawczego pozwoliły na wykazanie wieloskalowości zjawisk rozpraszania energii, magnesowania oraz anizotropii magnetycznej dla materiałów magnetycznie miękkich o różnych strukturach wewnętrznych [1-3, 6, 7, 9, 10]. W ramach celu aplikacyjnego autor wykazał przydatność i skuteczność opracowanych algorytmów skalowania do opisu wybranych właściwości materiałów magnetycznie miękkich, a mianowicie stratności [1-3, 5, 6, 9], koercji magnetycznej [3, 4, 7], krzywych bezhisterezowych [8] oraz anizotropii [10]. Opracował również skuteczne metody predykcji wybranych właściwości materiałów magnetycznie miękkich do implementacji numerycznej w programach CAD-owskich [5-7, 9, 10].

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Do pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie 4b zestawu publikacji, autor wniosku zalicza:

- 5.1. publikacje związane z analizą oraz modelowaniem anizotropii magnetycznej,
- 5.2. publikacje związane z analizą oraz modelowaniem właściwości stopów magnetokalorycznych,
- 5.3. publikacje dotyczące proekologicznych aspektów zastosowań nowoczesnych materiałów magnetycznie miękkich w transformatorach rozdzielczych

Ad 5.1.

1. Chwastek K., **Najgebauer M.**, Szczygłowski J., Wilczyński W., 2011, Modelling the influence of anisotropy on magnetic properties in grain-oriented steels, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 87, nr 3, s. 126-128

Punkty MNiSW = 15; IF(2011) = 0,244; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy przedstawiono model anizotropii właściwości magnetycznych oparty o koncepcję ko-energii, w postaci zależności zbliżonej do równania eliptycznego o wykładniku n . W pracy przyjęto wartość wykładnika $n = 1,4$ sugerowaną w innych pracach. Zaproponowany model został zweryfikowany dla orientowanych blach elektrotechnicznych o wybranych grubościach. Pomiary zostały wykonane dla próbek w postaci pasków, wyciętych z blachy dla różnych kątów względem kierunku walcowania. Wykazano możliwość predykcji krzywych magnesowania dla dowolnego kąta ϕ wycięcia próbki, w oparciu o pomiary wykonane wyłącznie dla kierunków zgodnego i prostopadłego względem kierunku walcowania blachy.

2. **Najgebauer M.**, Szczygłowski J., Kapłon A., 2015, Soft Magnetic Materials for Energy-Efficient Electric Motors, *IEEE Xplore: 12th Conference on Selected Problems of Electrical Engineering and Electronics (WZEE'2015)*, Kielce, 4s.

Punkty MNiSW = 15; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy omówiono czynniki wpływające na straty generowane w silnikach elektrycznych. Wskazano na znaczący wpływ strat w rdzeniu na sprawność silników, jak też na możliwość poprawy ich sprawności przez odpowiedni dobór materiału rdzenia. Przedstawiono wyniki pomiarów (pętle histerezy i krzywe stratności) dla izotropowych materiałów magnetycznych stosowanych na rdzenie silników, w tym nieorientowanych blach elektrotechnicznych, blach wysokokrzemowych oraz taśm amorficznych. Dla blachy nieorientowanej wykonano dodatkowo pomiary dla kierunku walcowania i prostopadłym do niego. Wskazano na izotropię właściwości magnetycznych jako jeden z najistotniejszych parametrów określających przydatność materiału do budowy rdzeni magnetycznych silników. Wykazano, że nawet materiały izotropowe posiadają pewnie stopień anizotropii właściwości, co może wpływać na sprawność oraz eksploatację silników elektrycznych.

Ad 5.2.

1. Gozdur R., Chwastek K., **Najgebauer M.**, Lebioda M., Bernacki Ł., Wodzyński A., 2015, The effect of temperature on magnetic properties of LaFeCoSi near the transition point, *Microtechnology and Thermal Problems in Electronics, Microtherm'2015, Łódź*, s. 66-70

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów oraz modelowania wpływu temperatury na właściwości magnetyczne, takie jak pętle histerezy, koercja, krzywe stratności, dla masywnej próbki ze stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi. Wpływ temperatury był analizowany w otoczeniu punktu przejścia fazowego, tj. temperaturze Curie

wynoszącej $T_c = 300$ K. Wykonane pomiary potwierdziły silną temperaturową zależność właściwości magnetycznych dla stopu LaFeCoSi. Do predykcji właściwości magnetycznych zastosowano zmodyfikowany model Harrisona, w którym parametry temperaturowe $a(T)$ i $b(T)$ były wyznaczone z eksperymentalnych krzywych magnesowania. W pracy uzyskano jakościową zgodność modelowanych krzywych magnesowania z danymi pomiarowymi.

2. Gozdur R., Lebioda M., **Najgebauer M.**, 2017, Magnetic properties and flux distribution in the LaFeCoSi/FeCoV hybrid structure, *Acta Physica Polonica A*, vol. 131, nr 5, s. 1294-1297

Punkty MNiSW = 15; IF(2017) = 0,525; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów i analizy właściwości magnetycznych hybrydowej struktury, wykonanej ze stopu magnetokalorycznego LaFeCoSi ($T_c = 300$ K) pokrytego warstwą ferromagnetyczną FeCoV ($T_c = 1233$ K). Pomiary zostały wykonane w warunkach adiabatycznych, dla temperatur od 280 K do 350 K. Wykazano, że dla temperatur powyżej 300 K struktura hybrydowa pozostaje w stanie ferromagnetycznym (podczas gdy czysty stop LaFeCoSi przechodzi w stan paramagnetyczny), co ma istotny wpływ na proces magnesowania i właściwości magnetyczne badanej struktury hybrydowej. W pracy wykonano również analizę rozkładu strumienia magnetycznego wewnątrz badanej struktury z wykorzystaniem dwuwymiarowego modelu FEM. Wskazano na wpływ warstwy ferromagnetycznej na rozkład przestrzenny strumienia magnetycznego w strukturze hybrydowej.

Ad 5.3.

1. Chwastek K., **Najgebauer M.**, Szczygłowski J., Wilczyński W., 2009, Modern core materials for efficient power distribution transformers, *Przeгляд Elektrotechniczny*, vol. 85, nr 3, s. 133-135

Punkty MNiSW = 6; IF(2009) = 0,196; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy analizowano właściwości materiałów magnetycznych stosowanych do budowy rdzeni transformatorów rozdzielczych, tj. konwencjonalnych orientowanych blach elektrotechnicznych oraz nowoczesnych taśm amorficznych. Przedstawiono technologię wytwarzania oraz właściwości magnetyczne taśm amorficznych na bazie żelaza. Porównano quasi-statyczne pętle histerezy dla taśmy amorficznej oraz orientowanej blachy 3,2% Si-Fe. Wskazano na mniejszą stratność taśm amorficznych, skutkującą redukcją strat w rdzeniu transformatora, oraz na ich niską indukcję nasycenia, co powoduje wzrost wymiarów rdzenia amorficznego i całego urządzenia. Wskazano na możliwe proekologiczne aspekty zastosowania transformatorów z rdzeniami amorficznymi w kontekście europejskich i światowych uwarunkowań prawnych w zakresie ochrony środowiska naturalnego.

2. Szczygłowski J., **Najgebauer M.**, Chwastek K., 2009, Energooszczędne transformatory energetyczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 85, nr 6, s. 90-92

Punkty MNiSW = 6; IF(2009) = 0,196; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy przedstawiono informacje dotyczące możliwości poprawy parametrów użytkowych transformatorów energetycznych poprzez zastosowanie w nich rdzeni magnetycznych wykonanych z nowego typu taśm amorficznych. Wskazano, że zastosowanie nowych taśm amorficznych o wyższej indukcji nasycenia skutkuje zmniejszeniem przekroju i masy rdzenia. Porównano parametry użytkowe (waga, starty w rdzeniu/całkowite, poziom hałasu) trójfazowych transformatorów o mocy 500 kV·A z rdzeniami wykonanymi z różnych materiałów magnetycznych. Wskazano na znaczące obniżenie strat jałowych w przypadku transformatorów z rdzeniami z nowych taśm amorficznych oraz na potencjalne oszczędności energii elektrycznej wynikające z wprowadzenia ich do eksploatacji.

3. **Najgebauer M.**, Szczygłowski J., Chwastek K., 2011, Energy efficient distribution transformers, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 87, nr 2, s. 111-114

Punkty MNiSW = 15; IF(2011) = 0,244; Artykuł indeksowany w bazach: Web of Science, SCOPUS.

W pracy omówiono ekonomiczne oraz proekologiczne aspekty wprowadzenia do systemu elektroenergetycznego transformatorów z rdzeniami wykonanymi z taśm amorficznych. Porównano parametry użytkowe oraz wartości strat obciążeniowych i jałowych dla różnych typów transformatorów rozdzielczych o rdzeniach z blachy orientowanej i taśmy amorficznej. Przedstawiono oszacowania dotyczące rocznych start energii w transformatorach rozdzielczych oraz potencjalne możliwości ich ograniczenia poprzez zastosowanie transformatorów z rdzeniami amorficznymi. Wskazano na wynikające z zastosowania transformatorów amorficznych możliwości znaczącej redukcji gazów cieplarnianych (CO₂, NO_x i SO₂). Porównano całkowite koszty eksploatacji transformatorów z rdzeniami konwencjonalnymi i amorficznymi, uwzględniające okres eksploatacji, koszt zakupu urządzenia i koszty generowanych strat. Wskazano na potencjalne zyski ekonomiczne wynikające z eksploatacji transformatorów z rdzeniami amorficznymi.

6. Podsumowanie

Dotychczasowy dorobek publikacyjny autora wniosku obejmuje 86 publikacji, w tym 18 publikacji samodzielnych, a po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych odpowiednio – 56 publikacji, w tym 16 samodzielnych. W czasopiśmie z listy Journal Citation Report zostało opublikowanych 15 prac (13 po doktoracie), w tym 4 samodzielne. 15 prac zostało opublikowanych w recenzowanych, renomowanych czasopiśmie takich jak Archives of Electrical Engineering, Solid State Phenomena, Przegląd Elektrotechniczny, Prace Naukowe Politechniki Śląskiej „Elektryka”, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Elektrotechnika. Pozostałe prace ukazały się w recenzowanych materiałach międzynarodowych i krajowych

konferencji, takich jak: Soft Magnetic Materials Conference (SMM), Joint European Magnetic Symposia (JEMS), Czech and Slovak Conference on Magnetism (CSMag), International Scientific Conference on Magnetic Measurements (MM), Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits (EPNC), International Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering (IGTE), Symposium on Hysteresis Modeling and Micromagnetics (HMM), Symposium of Magnetic Measurements and Modeling (SMMM), Microtechnology and Thermal Problems in Electronics (Microtherm), International Conference "Mechatronic Systems and Materials" (MSM), Symposium on Applied Electromagnetics (SAEM), International Scientific Symposium „Elektroenergetyka” (EE), International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM), International Conference on Mathematical Modeling and Computer Simulation of Material Technologies (MMT), Sympozjum Środowiskowe PTZE „Zastosowania Elektromagnetyzmu w Nowoczesnych Technikach i Medycynie”, Workshop PTZE, Seminarium Naukowe „Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki” (WZEE), Sympozjum Pomiarów Magnetycznych (SPM), Sympozjum „Podstawowe Problemy Energoelektroniki, Elektromechaniki i Mechatroniki (PPEEm), Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie (OWD), Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Prognozowanie w Elektroenergetyce” (PE), Krajowa Konferencja „Modelowanie i Symulacja” (MiS), jak również jako rozdziały w monografiach. Prace stanowiące dorobek naukowy autora zostały zamieszczone w czasopismach o cyrkulacji krajowej i międzynarodowej, czego efektem są ich liczne cytowania.

Baza **Web of Science** Core Collection indeksuje **23** publikacje, które są cytowane **57** razy (w tym **20** bez autocytowań). **Index Hirscha** jest równy **4**. Dodatkowo, baza Web of Science Core Collection na podstawie ścieżki Cited Reference Search indeksuje **31** publikacji, które są cytowane **98** razy (w tym **31** bez autocytowań).

Baza **Scopus** indeksuje **27** publikacji, które są cytowane **76** razy (w tym **31** bez autocytowań). **Index Hirscha** jest równy **5**.

Sumaryczny Impact Factor (IF) dla publikacji w czasopismach z listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **6,161**. Wartość współczynnika IF z uwzględnieniem udziału procentowego autora w publikacjach wynosi **3,079**.

Sumaryczna liczba przyznawanych punktów na rok publikacji określonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wynosi **302**.

Aktywność autora wniosku w środowisku naukowym przejawia się między innymi czynnym uczestnictwem w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych, a także działalnością w ramach Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu (PTZE) i Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS), w którym od roku 2008 jest członkiem zarządu Oddziału Częstochowskiego PTETiS w funkcji skarbnika, a od 2015 jest członkiem Komisji Młodych Pracowników Nauki PTETiS.

Autor wniosku wykonał recenzje 18 artykułów, w tym:

- 12 artykułów dla czasopism z listy JCR: Materials Science and Engineering B: Advanced Functional Solid-State Materials, IEEE Transaction on Magnetics, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Journal of Electrical Engineering – Electrotechnický časopis, Acta Physica Polonica A,
- 2 artykułów dla czasopism krajowych: Przegląd Elektrotechniczny,
- 4 artykułów konferencyjnych: Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits (EPNC), Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki, (WZEE), Symposium on Electrical Machines (SME), Innovations in Biomedical Engineering (IiBE).

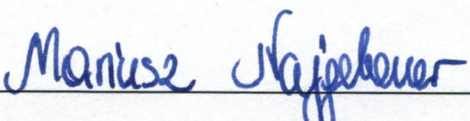
Aktywny udział autora wniosku w działaniach na rzecz promocji nauki polegał między innymi na udziale w organizacji konferencji naukowych, w tym: Symposium of Magnetic Measurements and Modeling (wcześniej Sympozjum Pomiarów Magnetycznych) – 4 edycje (2009, 2011, 2014, 2016), Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Prognozowanie w Elektroenergetyce” – 4 edycje (2010, 2011, 2013, 2016), Technical and Economic Aspect of Modern Technology Transfer in Context of Integration with European Union (2004) oraz Seminarium Naukowe „Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki” (2002).

W roku 2005 autor wniosku odbył staż naukowy w Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Madryt, Hiszpania, w zakresie badań dotyczących oceny właściwości materiałów magnetycznych o strukturze nanokrystalicznej,

Poza działalnością naukową autor wniosku prowadzi aktywną działalność dydaktyczną i organizacyjną na rzecz macierzystego Wydziału i Uczelni. Autor wniosku jest promotorem ponad 50 prac inżynierskich i magisterskich, a od roku 2015 pełni funkcję opiekuna *Studenckiego Koła Naukowego Inżynierii Materiałowej* działającego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Jest też promotorem pomocniczym w rozprawie doktorskiej nt. „Wpływ zjawiska histerezy magnetycznej na wiropiędowe straty energii w materiałach magnetycznie miękkich”. W ramach pracy organizacyjnej autor wniosku był między innymi członkiem Senatu Politechniki Częstochowskiej (2014-2016), przewodniczącym Wydziałowej oraz członkiem Uczelnianej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia (2012-2016), a od lutego 2017 roku jest Pełnomocnikiem Dziekana ds. Studiów Odpłatnych Wydziału Elektrycznego.

Zaangażowanie autora wniosku w pracę naukową, dydaktyczną i organizacyjną zostało wyróżnione 18 indywidualnymi i zbiorowymi nagrodami Rektora Politechniki Częstochowskiej.

Zestawienie osiągnięć naukowych autora wniosku			Razem
Opublikowane prace naukowe			86
Czasopisma	z listy JCR	15	
	międzynarodowe	1	
	krajowe	14	
Materiały konferencyjne	międzynarodowe	20	
	krajowe	27	
Rozdziały w książkach lub monografiach		9	
Opracowania zbiorowe			2
Sumaryczny Impact Factor według listy JCR (IF z uwzględnieniem udziału procentowego autora w publikacjach)			6,151 (3,079)
Liczba publikacji indeksowanych przez bazę WoS			23
Liczba cytowań publikacji według bazy WoS (bez autocytowań)			57(20)
Liczba publikacji indeksowanych przez bazę Scopus			27
Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus (bez autocytowań)			76(31)
Indeks Hirscha według bazy Web of Science			4
Indeks Hirscha według bazy Scopus			5
Kierowanie lub udział w projektach badawczych	międzynarodowe	0	1
	krajowe	1	
Udział w konferencjach naukowych	międzynarodowe	13	34
	krajowe	21	
Udział w komitetach organizacyjnych konferencji	międzynarodowe	5	10
	krajowe	5	
Uczestnictwo w programach europejskich			1
Członkostwo w towarzystwach naukowych			2
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie			18
Udział w zespołach eksperckich i konkursowych			2
Recenzowanie artykułów dla czasopism	z listy JCR	12	14
	krajowe	2	
Recenzowanie artykułów konferencyjnych	międzynarodowe	1	4
Nagrody za działalność naukową i organizacyjną	indywidualne	3	18
	zespołowe	15	


 dr inż. Mariusz Najgebauer