

Autoreferat informujący o zainteresowaniach i osiągnięciach w działalności naukowo-badawczej, dydaktycznej i organizacyjnej

1. Działalność naukowa

1.1. Okres studiów

W 1986 roku, po ukończeniu Liceum Ogólnokształcącego im. Komisji Edukacji Narodowej w Puławach (klasa o profilu biologiczno-chemicznym), rozpoczęłam studia na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Pracę magisterską pt. „*Wpływ masy efektywnej nukleonu na ruch jednocząstkowy w jądrze atomowym*”, przygotowaną pod kierunkiem dr hab. Stefana Ćwioka, obroniłam w 1991 r. uzyskując stopień magistra inżyniera (kierunek studiów: Podstawowe problemy techniki, specjalność: Fizyka techniczna). W tym samym czasie rozpoczęłam drugie studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W 1994 r. obroniłam drugą pracę magisterską pt. „*Wpływ stałych pól magnetycznych na organizmy żywe*”, przygotowaną pod kierunkiem prof. dr hab. Katarzyny Blinowskiej i dr hab. Marii Łebkowskiej, i ukończyłam studia uzyskując stopień magistra (kierunek: Fizyka, specjalność: Zastosowania fizyki w medycynie) oraz dyplom z wyróżnieniem.

Mój pierwszy kontakt z pracą naukową miał miejsce po trzecim roku studiów na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej, podczas praktyki zawodowej w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów w Warszawie, w ramach której uczestniczyłam w opracowaniu i analizie danych z eksperymentu mającego na celu określenie kanałów i mechanizmów reakcji jądrowych zachodzących podczas bombardowania jonów $^{54,56}\text{Fe}$, ^{58}Ni i ^{59}Co cząstkami α o energiach 14-27 MeV. Współpracę z tym ośrodkiem kontynuowałam podczas czwartego roku studiów w Politechnice Warszawskiej. Współpraca ta zakończyła się wspólną publikacją [1]. Moje wczesne zaangażowanie w pracę naukową zaowocowało przyznaniem mi stypendium Ministra Edukacji Narodowej na rok akademicki 1990/1991.

1.2. Badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej i ich późniejsza kontynuacja

Bezpośrednio po zakończeniu drugich studiów, w październiku 1994 r., zostałam zatrudniona w Zakładzie Radiospektroskopii Instytutu Fizyki Politechniki Szczecińskiej, najpierw na stanowisku asystenta stażysty, a od roku akademickiego 1995/1996 na stanowisku asystenta. Po zatrudnieniu początkowo rozpoczęłam badania właściwości fizycznych materiałów biologicznych metodą sondy spinowej. Jednak poważne kłopoty z aparaturą, które dotknęły w tym okresie Zakład Radiospektroskopii, spowodowały zmianę tematyki prowadzonych przeze mnie prac. Wiosną 1996 r. rozpoczęłam, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Leszka Malinowskiego, badania teoretyczne zjawiska przewodzenia ciepła za pomocą hiperbolicznego równania przewodnictwa cieplnego, opartego na modyfikacji prawa Fouriera zaproponowanej przez Cattaneo [2], uwzględniającej skończoną prędkość rozchodzenia się ciepła. Badania te polegały na rozwiązywaniu, metodami analitycznymi i numerycznymi, szczególnych przypadków modelu hiperbolicznego oraz klasycznego modelu parabolicznego i koncentrowały się na:

- a) analizie różnic jakościowych i ilościowych między przewidywaniami hiperbolicznego i parabolicznego modelu przewodzenia ciepła, pojawiających się dla czasów krótkich (rzędu czasu relaksacji strumienia ciepła t_k) i długich (dla $t \gg t_k$),
- b) określeniu charakterystycznych cech rozwiązań hiperbolicznego modelu przewodzenia ciepła w porównaniu z modelem parabolicznym,
- c) weryfikacji sensu stosowania modelu hiperbolicznego przy opisie wybranych zjawisk,
- d) wyznaczeniu granic stosowalności modelu parabolicznego i hiperbolicznego.

Rezultaty przeprowadzonych badań zostały przedstawione w publikacjach [3-6] oraz w mojej pracy doktorskiej pt. „*Modelowanie matematyczne zjawiska przewodzenia ciepła ze skończoną prędkością w ciałach z wewnętrznymi źródłami ciepła*”, którą obroniłam dnia 29 maja 2001 r. na Wydziale Mechanicznym Politechniki Szczecińskiej, uzyskując stopień doktora nauk technicznych. Recenzentami mojej pracy doktorskiej byli dr hab. inż. Jerzy Sado, prof. PW (Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej) oraz doc. dr hab. Jan Dudczak (Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej).

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych zostałam zatrudniona w Instytucie Fizyki Politechniki Szczecińskiej na stanowisku adiunkta, a po zmianach organizacyjnych dokonanych 1.01.2009 r. (utworzenie Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z połączenia Politechniki Szczecińskiej z Akademią Rolniczą) i 1.06.2010 r. (przyłączenie Instytutu Fizyki, będącego wcześniej jednostką międzywydziałową, do Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT) na tym samym stanowisku w Instytucie Fizyki na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, na którym pracuje do chwili obecnej. W latach 1997-1999 i 2001-2003 dwukrotnie przebywałam na urlopie macierzyńskim i wychowawczym (razem ok. 5 lat), co spowodowało przerwy w prowadzonej przeze mnie działalności naukowej.

Badania dotyczące zastosowań hiperbolicznego równania przewodnictwa cieplnego były przeze mnie kontynuowane również po doktoracie aż do roku 2005 i zaowocowały jeszcze dwiema publikacjami [7,8]. Należy wspomnieć, że praca [8] cieszy się znacznym zainteresowaniem na forum międzynarodowym, o czym świadczy duża liczba cytowań przez innych autorów (aktualnie 40 wg bazy *Web of Knowledge*).

W trakcie przygotowywania doktoratu zetknęłam się również po raz pierwszy z zagadnieniami dotyczącymi chłodzenia i stabilności termicznej kabli nadprzewodnikowych. Ze względu na szybkozmienność zjawisk cieplnych zachodzących w nadprzewodnikach oraz stosunkowo duże wartości czasów relaksacji strumienia ciepła w temperaturach kriogenicznych, interesującym zagadnieniem była weryfikacja sensu stosowania hiperbolicznego modelu przewodnictwa cieplnego przy modelowaniu pola temperatury w technicznych nadprzewodnikach oraz przy wyznaczaniu minimalnej energii utraty nadprzewodzenia (Minimum Quench Energy, MQE, zwanej również energią krytyczną), t.j. minimalnej energii zakłócenia energetycznego, która dostarczona do przewodu powoduje wytworzenie się lokalnej strefy normalnej, która następnie rozszerza się na cały przewód powodując jego przejście w stacjonarny stan oporowy (ang. *quench*). MQE jest jednym z ważniejszych parametrów stabilności technicznych nadprzewodników, wyznaczających obszar ich bezpiecznej pracy, które są wykorzystywane podczas projektowania i eksploatacji urządzeń nadprzewodnikowych [9]. Wyniki badań nad zagadnieniem określenia granic stosowalności modelu parabolicznego i hiperbolicznego przy modelowaniu pola temperatury i wyznaczaniu MQE w technicznych nadprzewodnikach przedstawione zostały w pracach [3] i [5] oraz w opublikowanej po

doktoracie pracy [10]. Badania mające na celu opracowanie analitycznych metod obliczania MQE są nadal kontynuowane w ramach prowadzonego przeze mnie projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) - projekt nr 2011/01/B/ST8/04915 „*Modelowanie matematyczne zagadnień chłodzenia i stabilności termicznej elektromagnesów nadprzewodnikowych*”.

Wraz z prof. dr hab. inż. Leszkiem Malinowskim podjęliśmy również badania w tematyce dotyczącej zagadnień optymalizacji i analizy egzergetycznej siłowni turbogazowych. Ich wyniki zostały przedstawione ostatnio w pracy [11].

1.3. Działalność naukowa związana z tematem pracy habilitacyjnej

W roku 2006 nawiązałam kontakt z dr Pierluigi Bruzzone, kierującym grupą Fusion Technology – Superconductivity z Ecole Polytechnique Federale de Lausanne - Centre de Recherche de Physique de Plasma (EPFL-CRPP) w Paul Scherrer Institute (PSI) Villigen, Szwajcaria. We wrześniu 2006 r. zostałam zaproszona na spotkanie z jego zespołem. W spotkaniu uczestniczył również dr Luca Bottura z CERN. Podczas spotkania zapadła decyzja o nawiązaniu współpracy i przygotowaniu, w ramach programu EURATOM, wspólnego projektu dotyczącego badania zjawisk cieplno-przepływowych w kablach nadprzewodnikowych typu Cable-in-Conduit (CICC). Projekt ten został zaakceptowany i był realizowany pod moim kierownictwem w Instytucie Fizyki Politechniki Szczecińskiej w roku 2007 r. (6PR-EURATOM-FUSION, zadanie UT2: „*Mathematical modeling of thermal-hydraulic problems in Cable in Conduit Conductors.*”). Poniżej (w części 1.3.2), po krótkim wprowadzeniu, omówione zostaną przesłanki, które skłoniły nas do zajęcia się tym tematem, a także (w części 1.3.3) opisane zostaną wspólnie przeprowadzone badania. Moja współpraca z dr Botturą była kontynuowana do 2010 r., natomiast współpraca z zespołem z EPFL-CRPP PSI Villigen trwa do chwili obecnej. Współpraca ta zaowocowała dwunastoma pracami [12-23] stanowiącymi jednotematyczny cykl publikacji zatytułowany „*Analiza zagadnień chłodzenia elektromagnesów nadprzewodnikowych*”, który przedstawiam jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu 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 z późn. zm.). Dziewięć spośród przedstawionych prac [14-17,19-23] opublikowana została w czasopiśmie z bazy Journal Citations Reports (w tym siedem w czasopiśmie zagranicznych), natomiast trzy pozostałe [12,13,18] w recenzowanych materiałach z konferencji zagranicznych. Zdecydowana większość spośród przedstawionych publikacji [13,14,16,19-23] powstała z udziałem jednego tylko współautora, zaś mój wkład do każdej z prac jest bardzo wysoki (stanowiący 70-95% pracy w publikacjach z jednym współautorem i 30-60% w publikacjach wieloautorskich). Oświadczenia współautorów odnośnie ich udziału w powstawaniu wspólnych publikacji zostały zamieszczone w Załączniku 6.

1.3.1. Cel pracy

Przedmiotem prowadzonych badań jest modelowanie, metodami analitycznymi i numerycznymi, zjawisk cieplno-przepływowych zachodzących w kablach nadprzewodnikowych oraz w nadprzewodnikowych krioprzepustach prądowych. Elementy te wykorzystywane są do budowy elektromagnesów, znajdujących zastosowania w wielu dziedzinach techniki, m.in. w technologii fuzji jądowej i akceleratorów. Celem prowadzonych badań jest zastosowanie modeli matematycznych do analizy danych eksperymentalnych, a także w procesie projektowania, optymalizacji oraz analizy bezpieczeństwa pracy elektromagnesów nadprzewodnikowych. Ze względu na bardzo wysokie wymagania co do parametrów pracy i niezawodności nowoczesnych elektromagnesów nadprzewodnikowych, konieczne jest prowadzenie szeroko zakrojonych badań nad ciągłym doskonaleniem tej technologii.

1.3.2. Wprowadzenie

Kable nadprzewodnikowe typu CICC [24] zbudowane są z wielostopniowo skręconych lub splecionych przewodów zamkniętych w szczelnym płaszczu. Pojedynczy przewód złożony jest z matrycy i osadzonych w niej wielu (nawet setek tysięcy) bardzo cienkich (o średnicy rzędu mikrometrów) włókien nadprzewodnikowych. Wolne przestrzenie pomiędzy przewodami umożliwiają przepływ chłodziwa, którym jest najczęściej hel nadkrytyczny. W zależności od zastosowania i związanej z tym maksymalnej gęstości transportowanego prądu, poszczególne rodzaje CICC mogą znacznie różnić się liczbą przewodów (przeciętnie 100-1300) oraz ich konfiguracją przestrzenną. Niektóre z CICC (np. zaprojektowane do zastosowania w cewkach wytwarzających toroidalne pole magnetyczne (TF) w tokamaku ITER) posiadają dodatkowy centralny kanał chłodzący oddzielony od reszty przewodu, zwanej wiązką (ang. *bundle*), zwykle za pomocą spirali lub rury perforowanej. Dodatkowy kanał chłodzący zmniejsza opory przepływu chłodziwa w kablu, co umożliwia przetłaczanie większej ilości chłodziwa przez kabel, a tym samym efektywniejsze odprowadzanie ciepła deponowanego w kablu oraz ochronę przed nadmiernym wzrostem ciśnienia podczas utraty nadprzewodzenia. Najważniejszą zaletą CICC jest bardzo efektywna wymiana ciepła pomiędzy przewodami a chłodziwem, stąd też uważa się, że tego rodzaju kable powinny charakteryzować się najlepszą z możliwych stabilnością termiczną. Z tego powodu kable typu CICC stosuje się do produkcji uzwojeń dużych elektromagnesów, które w warunkach pracy mogą być poddane stosunkowo wysokim zakłóceniom energetycznym, np. elektromagnesów stosowanych technologii fuzji jądrowej do utrzymywania gorącej plazmy.

Przepływ chłodziwa w CICC nieodłącznie wiąże się z oporami przepływu spowodowanymi przez siły lepkości i wynikającymi z nich spadkami ciśnienia w przewodzie. Spadki te mogą być znaczne ze względu na długość kabla w cewce, osiągającą nawet kilkaset metrów. Oszacowanie spadków ciśnienia jest niezmiernie ważne dla oceny kosztów pompowania chłodziwa. Oszacowanie to wymaga jednak znajomości współczynników oporu hydraulicznego dla obszaru wiązki f_B oraz dla centralnego kanału chłodzącego f_C . Obszar wiązki CICC jest bardzo skomplikowaną strukturą przypominająca ośrodek porowaty. We wcześniejszej literaturze wielokrotnie podejmowano próby stworzenia korelacji dla współczynnika oporu hydraulicznego obszaru wiązki (przeгляд istniejących korelacji przedstawiony został w pracy [15]). Miały one zazwyczaj ogólną postać: $f_B = f_B(\text{Re})$, gdzie Re jest liczbą Reynoldsa, i zostały otrzymane jako modyfikacje *ad hoc* korelacji sformułowanych dla przepływów w rurach gładkich poprzez dopasowanie do danych doświadczalnych zmierzonych dla pojedynczych CICC. Jedynym wyjątkiem była korelacja Kathedera [25] mająca postać $f_B = f_B(\text{Re}, \varphi)$, gdzie φ jest porowatością obszaru wiązki, zdefiniowaną jako stosunek przekroju poprzecznego części wiązki dostępnej dla przepływu chłodziwa do całkowitego przekroju poprzecznego wiązki. Korelacja Kathedera została otrzymana poprzez dopasowanie do danych eksperymentalnych otrzymanych dla ośmiu CICC o porowatości ok. 40% i, w nieco zmodyfikowanej wersji, przyjęta była również w kryteriach projektowych dla CICC tokamaka ITER [26]. Jednak eksperymentalne wartości współczynnika oporu dla poszczególnych CICC, zwłaszcza tych o niskiej porowatości, niejednokrotnie zdecydowanie odbiegały od wartości przewidywanych przez wszystkie wspomniane korelacje [27], dlatego też istniała pilna potrzeba sformułowania nowej, bardziej dokładnej korelacji.

Porowatość jest jednym z najważniejszych czynników determinujących zarówno opór hydrauliczny, jak i wymianę ciepła w CICC (im większa porowatość tym niższe opory przepływu oraz lepsze warunki odprowadzania ciepła z przewodu). Wartość porowatości nie może być jednak zbyt duża, ponieważ CICC musi stanowić zwartą konstrukcję, stabilną pod względem mechanicznym. Podczas transportu prądu przewody w kablu poddane są działaniu znacznych sił Lorentza, które

jednak nie powinny powodować ich przemieszczania, gdyż wiąże się to z dyssypacją energii oraz możliwością uszkodzenia włókien nadprzewodzących. Dobranie optymalnej wartości porowatości jest zatem jednym z ważniejszych zadań stojących przed projektantami CICC. Większość projektowanych i testowanych do 2006 r. CICC charakteryzowało się porowatością obszaru wiązki w granicach 35-40%. Wyniki testów prowadzonych w ostatnich latach (zob. np. [28]) wykazały jednak, że przy takich wartościach porowatości dochodzi stopniowej degradacji włókien nadprzewodzących Nb₃Sn wynikającej z mikrouszkodzeń mechanicznych. Powoduje ona niepożądane obniżenie prądu krytycznego oraz temperatury krytycznej przewodu. Pod koniec 2006 roku zapadła decyzja o wprowadzeniu poprawek do kryteriów projektowych dla niektórych CICC tokamaka ITER polegających m.in. na obniżeniu wartości porowatości ich obszaru wiązki do około 30-33%, co miało zapewnić większą stabilność mechaniczną i zapobiec degradacji włókien Nb₃Sn. Wiązało się to z koniecznością przeprowadzenia szeroko zakrojonych badań m.in. nad wpływem tak niskiej porowatości na właściwości cieplno-przepływowe CICC, co stanowiło główną motywację podjęcia tego tematu.

1.3.3. Opis przeprowadzonych badań

W latach 2007-2008 uczestniczyłam w EPFL-CRPP PSI Villigen w systematycznych badaniach eksperymentalnych spadków ciśnienia płynu przepływającego w CICC różniących się porowatością (w zakresie 25-35%), a także średnicą i konfiguracją przestrzenną przewodów [12-14]. Jako płyn roboczy używana była woda w temperaturze pokojowej oraz hel w warunkach kriogenicznych ($T = 4,5 \text{ K}$, $p = 1 \text{ MPa}$), co pozwoliło uzyskać wyniki w bardzo szerokim zakresie liczb Reynoldsa (40-40000). Badania te ukierunkowane były na określenie czynników mających decydujący wpływ na współczynnik oporu hydraulicznego obszaru wiązki, a ich długofalowym celem było sformułowanie nowej korelacji pozwalającej przewidywać ten współczynnik. Zgromadzone wyniki pomiarów oraz dane zaczerpnięte z literatury pozwoliły na stworzenie obszernej bazy danych eksperymentalnych, która po przeanalizowaniu za pomocą różnych modeli pozwoliła na sformułowanie dwóch nowych korelacji, opartych na analogii pomiędzy obszarem wiązki a ośrodkiem porowatym, pozwalających przewidywać współczynnik oporu hydraulicznego w obszarze wiązki CICC z lepszą dokładnością aniżeli wcześniej istniejące korelacje. Wyniki tych badań przedstawione zostały w pracach [15,16].

Innym ciekawym, choć zarazem potencjalnie destrukcyjnym, zjawiskiem cieplno-przepływowym, które może zachodzić w zorientowanym pionowo CICC z centralnym kanałem chłodzącym, w którym chłodziwo przepływa w dół (taka sytuacja występuje np. w części cewki używanej do wytwarzania toroidalnego pola magnetycznego (tzw. cewki TF) w tokamakach), jest termosyfon. Jego przyczyną jest lokalne zakłócenie energetyczne w obszarze wiązki, które powoduje zmniejszenie gęstości helu, a w konsekwencji zmniejszenie prędkości przepływu chłodziwa w tym obszarze. W skrajnym przypadku może to doprowadzić do lokalnego odwrócenia kierunku przepływu helu w obszarze wiązki, a następnie niekontrolowanego wzrostu temperatury, czego końcowym efektem staje się przejście całej cewki w stan normalny. Zjawisko termosyfonu w CICC zostało zaobserwowane po raz pierwszy w 2002 roku [29] i, ze względu na potencjalnie groźne skutki dla elektromagnesów nadprzewodnikowych, jest od tego czasu starannie badane zarówno eksperymentalnie, jak i teoretycznie za pomocą symulacji. Wiadomo, że wystąpieniu tego zjawiska sprzyja niska porowatość obszaru wiązki oraz duża średnica kanału centralnego, dlatego też niezmiernie ważne było upewnienie się czy wspomniane obniżenie porowatości CICC zaprojektowanych do zastosowania w cewkach TF tokamaka ITER, nie spowoduje możliwości pojawienia się termosyfonu w warunkach pracy tych cewek. W latach 2008-2009 uczestniczyłam

w serii szczegółowych testów własności cieplno-przepływowych dwóch prototypowych kabli zaprojektowanych dla cewek TF tokamaka ITER przeprowadzonych w EPFL-CRPP PSI Villigen. Zasadniczym celem tych badań było sprawdzenie czy w warunkach pracy cewek może wystąpić zjawisko termosyfonu w tych kablach. Otrzymane wyniki, opublikowane w pracach [17,18], wykluczyły możliwość pojawienia się termosyfonu w warunkach pracy cewek.

We wspomnianych powyżej eksperymentach, dzięki wyjątkowo bogatemu oprzyrządowaniu umieszczonemu nie tylko na powierzchni próbki kabla, ale także i w jego wnętrzu, udało się zebrać bardzo obfity i unikalny materiał doświadczalny. Zgromadzone dane pozwoliły nie tylko zrealizować zasadniczy cel eksperymentów, ale po pełnym przeanalizowaniu, powinny również dostarczyć odpowiedzi na szereg pytań o charakterze poznawczym i doprowadzić do lepszego zrozumienia zjawisk cieplno-przepływowych zachodzących w CICC z centralnym kanałem chłodzącym. Między innymi, na podstawie tych danych określono podział strumienia masy chłodziwa oraz współczynniki oporu hydraulicznego f_B i f_C w przebadanych kablach. Zebrane dane umożliwiły również oszacowanie wartości współczynnika wymiany ciepła pomiędzy obszarem wiązki, a centralnym kanałem chłodzącym, h_{BC} , w funkcji strumienia masy przepływającego chłodziwa. Wyniki tych badań opublikowane zostały w pracy [19]. Badania mające na celu oszacowanie współczynnika wymiany ciepła h_{BC} inną metodą są obecnie kontynuowane w ramach prowadzonego przeze mnie projektu nr 2011/01/B/ST8/04915 finansowanego przez NCN.

Kolejnym zadaniem badawczym, zrealizowanym przeze mnie w roku 2010 przy współpracy z EPFL-CRPP PSI Villigen, była analiza cieplno-przepływowa procesu schładzania urządzenia EDIPO (European Dipole Test Facility). EDIPO jest nowym urządzeniem do wszechstronnego testowania kabli nadprzewodnikowych, które zostało skonstruowane w EPFL-CRPP PSI w Villigen w 2012 r. [30]. Zasadniczą część EDIPO stanowi stalowy cylinder (o wysokości ok. 3 m i średnicy 1 m), w którego wnętrzu znajdują się dwie nadprzewodnikowe cewki dipolowe (każda zbudowana z siedmiu różnych CICC) oraz mniejsza cewka miedziana, resztę przestrzeni wewnątrz cylindra wypełnia stal ferromagnetyczna (ang. *yoke*) oraz materiały izolacyjne, np. włókno szklane i żywica epoksydowa. Całkowita masa tych elementów wynosi ok. 18,5 t. Przed rozpoczęciem pracy urządzenie musiało zostać schłodzone od temperatury pokojowej do 4,5 K, za pomocą wymuszonego przepływu helu w uzwojeniach cewek oraz w spiralnym kanale chłodzącym przytwierdzonym do zewnętrznej powierzchni cylindra. Przed przystąpieniem do konstrukcji urządzenia niezbędne było przeprowadzenie analizy mającej na celu oszacowanie czasu trwania jego schładzania dla dwóch alternatywnych wariantów połączenia hydraulicznego cewek nadprzewodnikowych (szeregowego i równoległego). Analiza procesu schładzania uwzględniała następujące czynniki:

- ograniczenia wynikające z dopuszczalnego poziomu naprężeń termicznych (różnica temperatur pomiędzy dwoma dowolnymi punktami wewnątrz urządzenia nie powinna przekraczać 50 K),
- ograniczenia strumienia masy przepływającego chłodziwa wynikające ze spadku ciśnienia w uzwojeniach cewek i w zewnętrznym kanale chłodzącym,
- ograniczenia wynikające z wydajności istniejącej chłodziarki kriogenicznej.

Analiza została przeprowadzona przeze mnie za pomocą analitycznego modelu przepływu chłodziwa w cewkach i zewnętrznym kanale chłodzącym, uzupełnionego przez uproszczony model numeryczny opisujący niestacjonarną wymianę ciepła we wnętrzu urządzenia. Otrzymane wyniki opublikowano w pracy [20].

Kolejne zadanie badawcze zrealizowane przeze mnie wraz ze współpracownikami z EPFL-CRPP PSI dotyczyło zagadnień chłodzenia krioprzepustów prądowych, wykonanych z wykorzystaniem wysokotemperaturowych materiałów nadprzewodnikowych (HTS). Przepusty prądowe stanowią integralną część elektrycznych urządzeń nadprzewodnikowych umożliwiającą przepływ prądu roboczego ze źródła o temperaturze pokojowej do kabla nadprzewodzącego utrzymywanego w temperaturze kriogenicznej [31]. Przepusty prądowe mogą być wykonane wyłącznie z materiałów normalnych (najczęściej z miedzi), jak również częściowo z metalu a częściowo z materiału nadprzewodnikowego nisko- lub wysokotemperaturowego. Przełomowym krokiem dla rozwoju technologii elektromagnesów nadprzewodnikowych wykorzystywanych w technologii fuzji jądrowej byłoby szersze zastosowanie do ich budowy materiałów HTS, co powinno w dalszej perspektywie umożliwić chłodzenie tych elektromagnesów za pomocą ciekłego azotu [32]. Udanym krokiem w tym kierunku było skonstruowanie prototypowego krioprzepustu prądowego dla tokamaka ITER, składającego się z modułu miedzianego i modułu HTS, przez współpracujące grupy z Forschungszentrum Karlsruhe i EPFL-CRPP PSI Villigen [33]. Wyniki testów eksperymentalnych wykazały, że użycie tego przepustu umożliwi około trzykrotne zmniejszenie mocy chłodzenia w porównaniu z optymalnie zaprojektowanym konwencjonalnym krioprzepustem wykonanym z całkowicie z miedzi [33,34]. Niezbędne są dalsze badania ukierunkowane na rozwój tej obiecującej technologii.

Moi współpracownicy z EPFL-CRPP PSI Villigen biorą udział w pracach projektowych mających na celu konstruowanie nowych udoskonalonych krioprzepustów prądowych, wykonanych częściowo z materiałów HTS, do zasilania elektromagnesów nadprzewodnikowych. Jednym ze wstępnych etapów prac projektowych, w którym aktywnie uczestniczyłam w latach 2011-2012, było przeprowadzenie szczegółowej analizy parametrycznej dwóch różnych wariantów chłodzenia miedzianej części krioprzepustu. Przedmiotem badań były krioprzepusty, w których część miedziana chłodzona jest za pomocą dwóch strumieni gazowego helu albo poprzez zanurzenie zimnego końca modułu miedzianego w kąpielii ciekłego azotu. W analizie rozważano jednowymiarowy stacjonarny model transportu ciepła w krioprzepuscie prądowym, w którym uwzględniono: przewodzenie ciepła wzdłuż krioprzepustu, generację ciepła Joule'a w części miedzianej, odprowadzanie ciepła do chłodziwa dla różnych planowanych wariantów chłodzenia oraz zależność temperaturowa parametrów materiałowych. Przeprowadzono również optymalizację termodynamiczną rozważanych krioprzepustów oraz porównanie każdego dwu powyższych wariantów chłodzenia z opcją standardową, w której moduł miedziany chłodzony jest za pomocą pojedynczego strumienia gazowego helu. Wyniki przeprowadzonych analiz zaprezentowane zostały w pracach [22,23]. Zespół z EPFL-CRPP PSI Villigen przygotowuje również stanowisko eksperymentalne do wszechstronnego testowania krioprzepustów. W latach 2011-2012 brałam udział w opracowaniu projektu koncepcyjnego systemu kriogenicznego, który będzie dostarczać chłodziwo do tego stanowiska. Wyniki tej pracy zostały opublikowane w [21]. Prowadzone przeze mnie badania nad analizą różnych wariantów chłodzenia krioprzepustów prądowych były finansowane przez NCN w ramach projektu nr 2011/01/B/ST8/04915, którym kieruję.

Badania zagadnień chłodzenia elektromagnesów nadprzewodnikowych są obecnie przeze mnie kontynuowane. W drugiej połowie 2012 r. rozpoczęłam pracę nad nowym zadaniem z tej dziedziny polegającym na analizie cieplno-przepływowej kabli nadprzewodnikowych dla cewki TF tokamaka DEMO zaprojektowanych przez zespoły z EPFL-CRPP PSI Villigen oraz z ENEA Frascati. Prace te prowadzone były w ramach zadania 7PR Euratom EFDA WP12-DAS01-T04: „*Produce models and perform analysis of candidate design*”. W roku bieżącym zadanie to będzie kontynuowane

(zadanie 7PR Euratom EFDA WP13-DAS01-T03: „*Iteration of the conductor analysis for both RW and WR options*”). Przewiduję również udział w opracowaniu projektu koncepcyjnego wymiennika ciepła, w który ma zostać doposażone urządzenie do testowania kabli nadprzewodnikowych SULTAN w EPFL-CRPP PSI Villigen w celu dostosowania go do testów kabli wykonanych z materiałów HTS w zakresie temperatur $20\text{ K} < T < 50\text{ K}$ (zadanie 7PR Euratom EFDA WP13-DAS01-T09: „*Preparation of the SULTAN facility for testing of high-current HTS conductors at variable temperatures*”).

1.4. Działalność naukowa w dziedzinie modelowania w spektroskopii prowadzona po doktoracie.

W ramach prac prowadzonych w Zakładzie Modelowania w Spektroskopii, w którym jestem obecnie zatrudniona, zajmuję się, pod kierunkiem prof. dr hab. Czesława Rudowicza, badaniami dotyczącymi standaryzacji parametrów pola krystalicznego jonów ziem rzadkich (Tm^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Ho^{3+}) w otoczeniu o symetrii rombowej lub jednoskośnej. W badaniach tych rozważane są konsekwencje dwóch zasadniczych właściwości pola krystalicznego, a mianowicie: istnienie alternatywnych (fizycznie równoważnych) zbiorów parametrów pola krystalicznego oraz niepoprawność porównywania zbiorów parametrów pola krystalicznego określonych w odmiennych układach współrzędnych. Dla prawidłowej interpretacji parametrów pola krystalicznego otrzymywanych za pomocą różnych technik eksperymentalnych konieczne jest sprowadzanie parametrów pola krystalicznego do układu standardowego. Rezultaty tych prac opublikowane zostały w serii artykułów [35-39].

1.5. Działalność w charakterze recenzenta

W 2005 r. po raz pierwszy zaproponowano mi recenzowanie artykułu złożonego do redakcji zagranicznego czasopisma naukowego. Od tego czasu recenzowałam łącznie 12 artykułów dla redakcji czterech renomowanych zagranicznych czasopism naukowych znajdujących się w bazie Journal Citation Reports: International Journal of Heat and Mass Transfer (1 recenzja), Cryogenics (9 recenzji), IEEE Transactions on Applied Superconductivity (1 recenzja) oraz Applied Energy (1 recenzja).

W roku 2012 zostałam dwukrotnie powołana przez Radę Narodowego Centrum Nauki (NCN) na członka Zespołu Ekspertów w dziale Nauk Ścisłych i Technicznych do oceny wniosków o finansowanie projektów badawczych. Na zlecenie NCN recenzowałam 42 takie wnioski.

1.6. Podsumowanie dorobku naukowego

Mój dorobek naukowy opublikowany przed doktoratem obejmuje 5 prac, w tym cztery w czasopismach zagranicznych wymienionych w bazie Journal Citations Reports (JCR) i jedną w recenzowanym czasopiśmie PAN. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora opublikowałam 18 prac w czasopismach wymienionych w bazie JCR (w tym 16 w czasopismach zagranicznych) oraz 3 prace w recenzowanych materiałach z konferencji zagranicznych (pełne teksty). Dwie spośród opublikowanych przeze mnie prac są monoautorskie, 16 - to publikacje z jednym współautorem, zaś 8 prac, z których większość prezentuje wyniki badań eksperymentalnych, opublikowałam z dwoma lub więcej współautorami. Jestem również współautorką skryptu do ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki.

Wartość łącznego współczynnika oddziaływania (impact factor, IF) dla moich publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, obliczona na podstawie IF dla roku publikacji pracy lub

na podstawie IF z roku 2011 (dla prac opublikowanych w latach 2012-2013), wynosi 24.417, w tym 21.391 dla prac opublikowanych po doktoracie.

Baza *Web of Knowledge* zawiera 23 moje publikacje, zaś baza *Google Scholar* obejmuje 26 moich prac. Moje publikacje były cytowane (bez autocytowań) 100 razy zgodnie z bazą danych *Web of Knowledge* i 117 razy według *Google Scholar*. Indeks Hirsch'a opublikowanych przez mnie prac wynosi 6 według bazy *Web of Knowledge* i 7 według bazy *Google Scholar* (stan z dnia 25.05.2013).

W latach 2007-2013 realizowałam lub nadal realizuję 5 projektów lub zadań badawczych, wyłonionych w drodze konkursów ogólnokrajowych lub międzynarodowych, wszystkie pod moim kierownictwem.

Wyniki uzyskane w ramach prowadzonych badań prezentowałam na krajowych i zagranicznych konferencjach i sympozjach naukowych wygłaszając ogółem 5 referatów, oraz prezentując 2 postery.

Prowadziłam lub nadal prowadzę współpracę naukowo-badawczą z następującymi zagranicznymi ośrodkami naukowymi: EPFL-CRPP PSI Villigen (Szwajcaria), CERN AT Department (Szwajcaria) oraz ENEA Frascati (Włochy).

Opracowałam 12 recenzji artykułów złożonych do redakcji zagranicznych czasopism naukowych znajdujących się w bazie JCR oraz 42 recenzje wniosków o finansowanie projektu badawczego na zlecenie NCN.

Za osiągnięcia naukowe otrzymałam indywidualną nagrodę I-stopnia JM Rektora Politechniki Szczecińskiej (w 2002 r.) oraz trzy indywidualne nagrody II-stopnia JM Rektora ZUT (w 2010, 2011 oraz 2012 r.).

Szczegółowy wykaz mojego dorobku naukowego wraz z danymi bibliometrycznymi jest podany w Załączniku 3.

2. Działalność dydaktyczna

Podczas studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego otrzymałam pełne przygotowanie pedagogiczne. Odbyłam również dwie praktyki pedagogiczne (3-tygodniową w Szkole Podstawowej nr 11 w Szczecinie oraz 6-tygodniową w Liceum Ogólnokształcącym nr IX im. Klementyny Hoffmanowej w Warszawie). Nauczanie studentów rozpoczęłam już podczas ostatniego roku studiów, kiedy, ze względu na bardzo dobre wyniki w nauce, zostałam zaproszona do prowadzenia ćwiczeń rachunkowych z Podstaw Fizyki dla studentów pierwszego roku Nauczycielskiego Kolegium Fizyki w roku akademickim 1993/1994. Po zatrudnieniu w Instytucie Fizyki Politechniki Szczecińskiej w 1994 r., prowadziłam początkowo ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne z Fizyki dla studentów pierwszego lub drugiego roku różnych kierunków studiów.

W roku akademickim 1996/97 na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej został otwarty nowy kierunek studiów – Fizyka Techniczna. W tym samym roku prowadziłam ćwiczenia rachunkowe z Metod Matematycznych w Fizyce dla studentów pierwszego roku tego kierunku. Pomimo dużych nadziei jakie wiązały z tym kierunkiem wszyscy pracownicy Instytutu Fizyki, rekrutacja na niego została niebawem zawieszona z powodu braku chętnych. Brak własnego kierunku studiów powoduje, że pracownicy Instytutu Fizyki rzadko zostają promotorami lub recenzentami prac magisterskich.

Po uzyskaniu stanowiska adiunkta, od roku akademickiego 2003/2004, zaczęłam również prowadzić wykłady z Fizyki dla studentów pierwszego i drugiego roku różnych kierunków. W 2005 r. byłam recenzentką jednej pracy magisterskiej. Od roku 2005, kiedy nasze sale wykładowe zostały wyposażone w sprzęt multimedialny, zaczęłam opracowywać pomoce dydaktyczne w wersji elektronicznej (treść wykładów, prezentacje z ilustracjami do wykładów, zestawy zadań do rozwiązania na ćwiczeniach lub jako praca domowa itp.), które są udostępnione studentom na mojej stronie internetowej (www.mlewandowska.ps.pl). Ponadto w 2007 r. opracowałam instrukcje do dwóch nowych stanowisk w laboratorium dydaktycznym oraz zostałam współautorką skryptu do ćwiczeń laboratoryjnych [40].

3. Działalność organizacyjna i popularyzatorska

Moja dotychczasowa działalność organizacyjna koncentrowała się przede wszystkim na pracach organizacyjnych związanych z przygotowaniem i prowadzeniem projektów badawczych (przygotowanie wniosków o finansowanie projektów badawczych, opracowanie planów pracy i raportów itp.) oraz zainicjowaniem i prowadzeniem współpracy z partnerami zagranicznymi. Wiąże się z tym również udział w spotkaniach mających na celu opracowanie planów badań, koordynację prac prowadzonych przez różne zespoły oraz zaprezentowanie raportów z przeprowadzonych badań, np. Posiedzenie Rady Asocjacji Euratom-IFPiLM (26.03.2008, Warszawa), Task Planning Meeting (20.03.2012, EFDA CSU Garching), Kick-Off-Meeting (19.06.2012, EFDA CSU Garching), Interim Meeting (16.10.2012, EFDA CSU Garching, video konferencja), Interim LTS Meeting (26.10.2012, ENEA Frascati), Final Report Meeting (14.12.2012, EFDA CSU Garching), Task Planning Meeting (8.01.2013, EFDA CSU Garching, video konferencja), Kick-Off-Meeting (26.03.2013, EFDA CSU Garching).

W związku z udziałem w pracach Zespołu Ekspertów NCN uczestniczyłam w 2012 r. w trzech dwudniowych posiedzeniach mających na celu sporządzenie list rankingowych wniosków zakwalifikowanych do drugiego etapu oceny lub do finansowania oraz przygotowanie uzasadnień merytorycznych dla wniosków odrzuconych.

Aktywnie angażuję się również w prace na rzecz promocji Politechniki Szczecińskiej/ZUT oraz popularyzacji tematyki prowadzonych przeze mnie badań naukowych, np. poprzez:

- kilkukrotny udział w organizacji Zachodniopomorskich Festiwali Nauki,
- prowadzenie wykładów dla Młodzieżowego Towarzystwa Naukowego,
- przygotowanie wykładu „Zagadnienia termo-hydrauliczne w kablach nadprzewodnikowych typu *Cable in Conduit*” na zaproszenie organizatorów wirtualnej konferencji „Zaawansowane technologie przyszłości Polski w Unii Europejskiej” promującej międzynarodowe projekty badawcze prowadzone w polskich ośrodkach naukowych, która odbyła się w dniach 23-28.11.2009,
- regularne wygłaszanie seminariów popularyzujących tematykę prowadzonych przeze mnie badań w Instytucie Fizyki,
- organizowanie wycieczek do Instytutu Fizyki dla uczniów szkół podstawowych i średnich.

Literatura cytowana w autoreferacie

1. Skulski W., Fornal B., Broda R., Jastrzębski J., Koczoń P., Kownacki J., **Opacka M.**, Pawłat T., Pieńkowski L., Płóciennik W., Sieniawski J. Singh P.P., Styczeń J., Wrzesiński J.: *Mass and charge release by the evaporation of particles from compound nuclei around mass 60*. Zeitschrift für Physik A – Hadrons and Nuclei **342** (1992) s. 61-66

2. Cattaneo C.: *Sulla conduzione de calore*. Atti del Seminario Matematico e Fisico della Universita di Modena **3** (1948), s. 3-21

Cattaneo C: *Sur une forme de l'equation de la chaleur eliminant le paradoxe d'une propagation instantanee*. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Academie des sciences **247** (1958) s. 431-433
3. **Lewandowska M.**, Malinowski L.: Analytical model of thermal waves propagation taking into account temperature dependence of thermophysical parameters. *Molecular Physics Reports* **20** (1997) 133-138
4. **Lewandowska M.**, Malinowski L.: *Hyperbolic heat conduction in the semi-infinite body with heat source which capacity linearly depends on temperature*. *Heat and Mass Transfer* **33** (1998) 389-393
5. **Lewandowska M.**, Malinowski L.: Analytical method for determining critical energies of uncooled superconductors based on the hyperbolic model of heat conduction *Cryogenics* **41** (2001) 267-273
6. **Lewandowska M.**: *Hyperbolic heat conduction in the semi-infinite body with a time-dependent laser heat source*. *Heat and Mass Transfer* **37** (2001) 333-342
7. **Lewandowska M.**, Malinowski L.: *Thermal waves propagation due to localized heat inputs - the Laplace transforms method analysis*. *Heat and Mass Transfer* **38** (2002) 459-466
8. **Lewandowska M.**, Malinowski L.: *An analytical solution of the hyperbolic heat conduction equation for the case of a finite medium symmetrically heated on both sides*. *International Communications in Heat and Mass Transfer* **33** (2006) 61-69
9. Malinowski L.: *Stabilność termiczna technicznych nadprzewodników*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin, 1992
10. **Lewandowska M.**: *Comment on Numerical Deficiencies in the Paper by Al-Odat and Al-Hussien (Int. J. Thermophys. 29, 1523 (2008))*, *International Journal of Thermophysics* **31** (2010) 1212-1219
11. Malinowski L., **Lewandowska M.**: *Analytical model-based energy and exergy analysis of a gas microturbine at part-load operation*. *Applied Thermal Engineering* **57** (2013) 125-132
12. Bagnasco M., Bottura L., Bruzzone P., **Lewandowska M.**, Marinucci C., Staehli F.: *Pressure drop of Cable-in-Conduit Conductors with different void fraction*. *Advances in Cryogenic Engineering* **53** (2008) 1317-1324
13. Bagnasco M., **Lewandowska M.**: *Pressure drop measurements in Cable-in-Conduit Conductors (CICC) with different layouts*. *Proceedings of the 22nd International Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference 2008 (ICEC 22-ICMC 2008)*, 21-25.07.2008, Seoul, Korea, 865-870
14. **Lewandowska M.**, Bagnasco M.: *Pressure drop measurements in Cable-in-Conduit Conductors (CICC's) for an extended range of Reynolds number*. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)* **85** (2009) 152-155
15. Bagnasco M., Bottura L., **Lewandowska M.**: *Friction Factor Correlation for CICC's Based on a Porous Media Analogy*, *Cryogenics* **50** (2010) 711-719
16. **Lewandowska M.**, Bagnasco M.: *Modified friction factor correlation for CICC's based on a porous media analogy*, *Cryogenics* **51** (2011) 541-545
17. Herzog R., **Lewandowska M.**, Bagnasco M., Calvi M., Marinucci C., Bruzzone P.: *Helium flow and temperature distribution in a heated dual-channel CICC sample for ITER*. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **19** (2009) 1488-1491

18. Herzog R., **Lewandowska M.**, Calvi M., Besette D.: *Helium flow and temperatures in a heated sample of a final ITER TF Cable-in-Conduit Conductor*, Journal of Physics: Conference Series **234** (2010), 032022 (8 stron)
19. **Lewandowska M.**, Herzog R.: *Transverse heat transfer coefficient in the dual channel ITER TF CICC: Part I: Analysis of steady state temperature profiles resulting from annular heating*, Cryogenics **51** (2011) 598-608
20. **Lewandowska M.**, Bagnasco M.: *Thermo-hydraulic analysis of the cool-down of the EDIPO test facility*, Cryogenics **51** (2011) 485-493
21. **Lewandowska M.**, Bagnasco M.: *Conceptual design and analysis of a cryogenic system for a new test facility for High Temperature Superconductor current leads (HTS CLs)*. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review) **88** (2012) 140-143
22. **Lewandowska M.**, Wesche R.: *Parametric study for the cooling of high temperature superconductor (HTS) current leads*. Cryogenics **53** (2013) 31-36
23. **Lewandowska M.**, Wesche R.: *Parametric study for the cooling of HTS current leads using a liquid nitrogen bath*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity **23** (2013) 4800304 (4 strony).
24. Duchateau J.-L.: *Cable-in-Conduit - rozdz. B6 w książce red. B. Seeber: Handbook of Applied Superconductivity*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1998
25. Katheder H., *Optimum thermohydraulic operation regime for cable in conduit superconductors (CICS)*, Cryogenics **34** (1994) 595-598
26. ITER Design Description Document. Magnets. Section 1: Engineering description, ITER_D_22HV5L v2.2 (2006)
27. Zano R., Savoldi Richard L., *A review of thermal-hydraulic issues in ITER cable-in-conduit conductors*. Cryogenics **46** (2006) 541-555
28. Bruzzone P., Wesche R., Stepanov B.: *The Voltage/Current Characteristic (n Index) of the Cable-in-Conduit Conductors for Fusion*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity **13** (2003) 1452-1455
29. Zano R., Bruzzone P., Ciazynski D., Ciotti M., Gislon P., Nicollet S., Savoldi Richard L.: *Analysis of thermal-hydraulic gravity/buoyancy effects in the testing of the ITER poloidal field full size joint sample (PF_FSJS)*, Advances in Cryogenic Engineering **49** (2004) 544-551
30. Calvi M., Bagnasco M., Bruzzone P., Cau F., Herzog R., Marinucci C., *et al.*: *Preparatory work to host the EDIPO test facility at CRPP*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity **18** (2008) 204-207.
31. red. Janowski T.: *Nadprzewodnikowe zasobniki energii*, Liber Duo, Lublin, 2007
32. EFDA-STAC: *Long term magnet R&D Programme Outline*. EFDA report 26.11.2008
33. Heller R., Darweschad S.M., Dittrich G., Fietz W.H., Fink S., Herz W., Hurd F., Kienzler A., Lingor A., Meyer I., Nöther G., Süsner M., Tanna V.L., Vostner A., Wesche R., Wüchner F., Zahn G.: *Experimental Results of a 70 kA High Temperature Superconductor Current Lead Demonstrator for the ITER Magnet System*. IEEE Transactions on Applied Superconductivity **15** (2005) 1496-1499
34. Heller R., Fietz W.H., Lietzow R., Tanna V.L., Vostner A., Wesche R., Zahn G., *70 kA High Temperature Superconductor Current Lead Operation at 80 K*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity **16** (2006) 823-826
35. Rudowicz Cz., Gnutek P., **Lewandowska M.**, Orłowski M.: *Alternative crystal field parameters for rare earth ions obtained from various techniques. Part I: Reanalysis of*

- Mossbauer spectroscopy studies of Tm^{3+} ions in $TmBa_2Cu_4O_8$ and $TmBa_2Cu_3O_{7-d}$ high T_c superconductors.* Journal of Alloys and Compounds **467** (2009) 98-105
36. Rudowicz Cz., Gnutek P., **Lewandowska M.**: *Alternative crystal field parameters for rare earth ions obtained from various techniques. Part II: Reanalysis of spectroscopic data for Eu^{3+} and Er^{3+} ions in RE_2BaXO_5 ($X=Co, Cu, Ni, Zn$) high temperature superconductors and related systems.* Journal of Alloys and Compounds **467** (2009), s. 106-111
37. Rudowicz Cz., **Lewandowska M.**, Gnutek P.: *Alternative crystal field parameters for rare earth ions obtained from various techniques: III. Low symmetry aspects inherent in monoclinic parameters obtained by Mössbauer spectroscopy for Tm^{3+} ions in Tm_2BaXO_5 ($X=Co, Cu, Ni$).* Journal of Alloys and Compounds **497** (2010) 32-37
38. Rudowicz Cz., **Lewandowska M.**: *Alternative crystal field parameters for rare-earth ions obtained from various techniques: IV. Comparative analysis of crystal field parameters obtained from inelastic neutron scattering and related studies of RE ions ($RE = Er^{3+}, Ho^{3+}, Nd^{3+}, Pr^{3+}$) in $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ high- T_c superconductors.* Journal of Alloys and Compounds **540** (2012) 279–289
39. Rudowicz Cz., **Lewandowska M.**: *Trends in orthorhombic crystal field parameters for trivalent rare-earth ions in high- T_c superconductors $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ – Correct interpretation based on standardization.* Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy **103** (2013) 282–286
40. Praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk, J. Typka: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki cz. II*, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej 2007:
- Lewandowska M., Typek J.: *Analiza niepewności pomiarowych*, rozdz. I, s. 7-26
 - Lewandowska M.: *Elementy termodynamiki*, rozdz. II.3, s. 53-65
 - Lewandowska M.: *Pomiar współczynnika przewodnictwa cieplnego materiałów budowlanych*, rozdz. III.10, s. 117-126
 - Lewandowska M.: *Pomiar efektywności pompy ciepła*, rozdz. III.11, s. 126-134

M. Lewandowska