

XXIX

**SYMPOZJUM
ŚRODOWISKOWE
PTZE**

PATRONAT HONOROWY:
Polska Izba Informatyki
i Telekomunikacji

PIIT

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE



Polskie Towarzystwo
Zastosowań Elektromagnetyzmu



Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki,
Uniwersytet Rolniczy, Kraków



Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A.



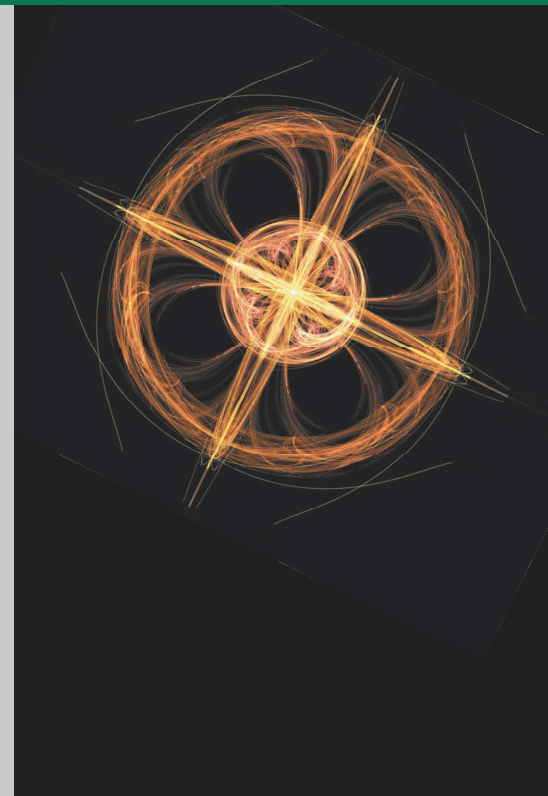
Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji, Lublin



Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki, Politechnika Łódzka



Lubelskie Towarzystwo Naukowe





POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

Współorganizatorzy:

POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI – UNIWERSYTET ROLNICZY, KRAKÓW

CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE NETRIX S.A.

WYŻSZA SZKOŁA EKONOMII I INNOWACJI W LUBLINIE

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I AUTOMATYKI – POLITECHNIKA ŁÓDZKA

LUBELSKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE

XXIX SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE

**ZASTOSOWANIA
ELEKTROMAGNETYZMU
WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE**

JANÓW PODLASKI, 9 – 12 czerwca 2019 r.

© Copyright by Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu

Warszawa 2019

ISBN 978-83-88131-01-1



POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

XXIX SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE

ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

JANÓW PODLASKI, 9 – 12 czerwca 2019 r.

Komitety naukowy

Przewodniczący:

Karol Bednarek

Członkowie:

Paweł Bienkowski

Liliana Byczkowska-Lipińska

Katarzyna Ciosk

Barbara Grochowicz

Sławomir Hausman

Leszek Kasprzyk

Jarosław Kieliszek

Paweł Kiełbasa

Ewa Korzeniewska

Romuald Kotowski

Andrzej Krawczyk

Roman Kubacki

Anna Pławiak-Mowna

Tomasz Rymarczyk

Aleksander Sieroń

Andrzej Wac-Włodarczyk

Joanna Wyszowska

Komitety organizacyjny

Przewodniczący:

Anna Koziorowska

Członkowie:

Przemysław Adamkiewicz

Tomasz Drózd

Łukasz Januszkiewicz

Józef Mróz

Piotr Murawski

Mikołaj Skowron

WPŁYW STĘŻENIA NANOCZĄSTEK SUPERPARAMAGNETYCZNYCH NA WYDAJNOŚĆ HIPERTERMII MAGNETYCZNEJ

**Anna MIKLEWSKA, Marcin KRAJEWSKI, Eleonora KRUGLENKO,
Ryszard TYMKIEWICZ, Barbara GAMBIN**

Instytut Podstawowych Problemów Technicznych, Polska Akademia Nauk

Hipertermia jest to kontrolowana technika nagrzewania tkanek do temperatury przekraczającej stan fizjologiczny w celu zniszczenia komórek lub wywołania reakcji immunologicznej. Często stosowana jest jako metoda wspomagająca terapię onkologiczną przy radio- i chemioterapii. W zależności od zasięgu działania efektu grzania, hipertermię dzielimy na: lokalną – okolice skóry lub otworów ciała, regionalną – tkanki głębokie, ogólnoustrojową – całe ciało. W celu lokalnego nagrzewania tkanek stosuje się pola magnetyczne lub ultradźwiękowe. Działanie terapeutyczne hipertermii magnetycznej często wykorzystuje pierwiastki żelaza będącego ferromagnetykiem, które znajdują się w organizmie ludzkim, głównie w hemoglobinie. Przyłożenie zmiennego pola magnetycznego do ukrwionej tkanki zawierającej cząstki żelaza powoduje ruch cząstek. W wyniku tarcia poruszających się cząstek oraz zjawiska termomagnetycznego następuje wyzwolenie energii w postaci ciepła i nagrzewana jest tkanka, która znajduje się w polu magnetycznym. Wydajność hipertermii magnetycznej zależy od rodzaju cząstek doprowadzonych do miejsc, w którym ma zadziałać pole. Zmienne pole magnetyczne powoduje ruch cząstek jako całości, który w lepkiem otoczeniu skutkuje wydzielaniem się ciepła oraz wyzwala dodatkowy mechanizm absorpcji energii magnetycznej związany silnie z rodzajem, ilością i wielkością cząstek.

Szczególnym zainteresowaniem cieszą się cząstki nanomagnetyczne tlenku żelaza Fe_3O_4 , które wyróżniają się korzystnymi właściwościami magnetycznymi. Ze względu na zastosowanie w organizmie człowieka cząstki używane w procedurach medycznych muszą posiadać wysoką biogodność, na którą składają się takie cechy jak stabilność chemiczna w warunkach fizjologicznych, kompatybilność biologiczna, odpowiedni czas cyrkulacji we krwi oraz biodegradowalność. W tym celu są one zwykle powlekane specjalnymi powłokami, dzięki którym spełniają wyżej wymienione wymagania. Takie cząstki są używane np. jako kontrasty w badaniach obrazowych przeprowadzanych metodą rezonansu magnetycznego. Ponieważ użyte przez nas nanocząstki wyprodukowaliśmy samodzielnie i użyliśmy w przeprowadzonych doświadczeniach *in vitro* na próbkach z materiałów tkankopodobnych, nie pokrywaliśmy ich żadną specjalną powłoką, użyliśmy czyste nanocząstki tlenku żelaza Fe_3O_4 . Naszym celem było przebadanie wpływu zawartości nanocząstek w badanych próbkach oraz ich czystości chemicznej na wydajność hipertermii magnetycznej. Najpierw zbadano czystość składu chemicznego otrzymanych w wyniku procesu syntezy nanocząstek, rozrzut ich wielkości oraz stratność magnetyczną. Następnie wykonane zostały wstępne badania laboratoryjne hipertermii przy użyciu jako materiału tkanko-podobnego zawiesin z nanocząstkami magnetycznymi przygotowanych na bazie kwasu oleinowego. W celu wywołania wzrostu temperatury w zawieszynie pod wpływem pola magnetycznego zbudowane zostało stanowisko do wytwarzania zmiennego, określonego pola magnetycznego, którego parametry pozwalają na bezpieczne użycie pola w organizmie człowieka.

Nanocząstki magnetyczne tlenku żelaza Fe_3O_4 zostały wyprodukowane w reakcji chemicznej wymiany trzech produktów: $FeCl_2$, $FeCl_3$, NH_4OH . Chlorki żelaza występują w postaci proszków, dlatego zostały rozpuszczone w wodzie, do której wdroplono odpowiednią objętość amoniaku. Uzyskane nanocząstki zostały oczyszczone poprzez mieszanie ich przy użyciu myjki ultradźwiękowej w roztworach etanolu i acetonu. Poziom czystości

sprawdzano został za pomocą roztworu chlorku srebra. Kiedy uzyskana została żądana czystość roztwór acetonu z nanocząstkami poddano procesowi suszenia w suszarce próżniowej. Ostatnim etapem wytwarzania nanocząstek było ich zebranie i ważenie. W czasie jednego procesu można teoretycznie wytworzyć dowolną ilość nanocząstek. W naszym przypadku powtarzano procedurę dwukrotnie i wyprodukowano w pierwszej procedurze 1g a w drugiej 2g nanocząstek, cząstki te nazywane są dalej: seria 1 i seria 2, odpowiednio. Oczyszczenie produktu reakcji w drugiej procedurze, serii 2 cząstek, zostało zakończone przed otrzymaniem oczekiwanych wyników ze względu na przedłużający się czas trwania procesu oczyszczania.

Skład otrzymanych w obu produkcjach cząstek został zbadany jakościowo poprzez określenie widm rentgenowskich (XRD) i porównanie ich do widm rentgenowskich komercyjnych nanocząstek tlenku żelaza Fe_3O_4 . W przypadku cząstek wyprodukowanych w większej ilości (seria 2) zaobserwowano zanieczyszczenia, których nie było w serii 1 nanocząstek. Dla wyprodukowanych nanocząstek obu serii została zmierzona pętla histerezy, która okazała się tzw. zerową pętlą histerezy. Oznacza to, że nie ma strat energii magnetycznej w czasie przeorientowywania się domen magnetycznych, czyli, że otrzymane cząstki mają właściwości superparamagnetyczne. Kolejną badaną właściwością był rozrzut wielkości nanocząstek. Został on wyznaczony na podstawie zdjęć SEM zrobionych mikroskopem transmisyjnym JEOL 1011. Przy użyciu programu ImageJ zostały określone wartości średnic 291 cząstek. Obliczona wartość średnia wynosiła $11,37 \pm 2,73$ nm, rozkład wielkości był bliski rozkładowi Gaussa o średniej 11,45 nm i wariancji 2.7 nm.

Ostatnim etapem pracy było przeprowadzenie wstępnych badań laboratoryjnych hipertermii magnetycznej na otrzymanych cząstkach. Wytwarzaliśmy pole magnetyczne o częstotliwości 409,7 kHz i natężeniu ok. 3,2 kA/m, które wewnątrz solenoidu jest jednorodne na długości większej niż wymiar próbek.

Ciecze magnetyczne do badań zostały przygotowane jako zawiesiny kwasu oleinowego z nanocząstkami z obu serii w stężeniach 1, 5, 10, 20, 40 mg/ml, dalej nazywane jako próbka 1, próbka 5, próbka 10, próbka 20 i próbka 40, odpowiednio. Przeprowadzono pomiary rejestracji zmian temperatury we wszystkich cieczach magnetycznych w czasie nagrzewania wyżej opisanym zmiennym polem magnetycznym w czasie 3 minut. Temperatura mierzona była za pomocą termometru optycznego, Fiber optic thermometer FOTEMP1-H z sensorem TS3 (OPTOCON, Germany), który nie reaguje na pole magnetyczne. Rozdzielczość termometru wynosiła $0,1^\circ C$, a czas reakcji 250 ms. Wyniki pokazały, że nanocząstki czystsze należące do serii 1 grzeją się znacznie bardziej niż cząstki należące do serii 2 jeśli ich stężenie jest większe od 1 mg/ml. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń grzania cieczy magnetycznych w zmiennym polu magnetycznym potwierdziły, że wydajność hipertermii magnetycznej zależy silnie od stężenia nanocząstek w badanych zawiesinach. Wydajność procesu rośnie wraz ze wzrostem stężenia w sposób zbliżony do wprost proporcjonalnego dla stężeń w zakresie od 10 mg/ml do 40 mg/ml. Dodatkowo wykazano, że ciecze magnetyczne zawierające nanocząstki czyste (seria 1) charakteryzują się większym przyrostem temperatury niż te, które zawierają cząstki zanieczyszczone (seria 2) w zakresie gęstości od 5 do 40 mg/ml.