



AKADEMIA GÓRNICZO–HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

**Dr hab. Monika Motak, prof. AGH**  
DZIEKAN WYDZIAŁU ENERGETYKI I PALIW

KIEROWNIK ZESPOŁU PROCESÓW KATALITYCZNYCH I ADSORPCYJNYCH  
W ENERGETYCE I OCHRONIE ŚRODOWISKA  
KATEDRA TECHNOLOGII PALIW

Kraków, dn. 29.08.2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
pt. Synteza wybranych stopów na bazie magnezu oraz  
ich właściwości w aspekcie zdolności do reakcji z wodorem  
Autor dysertacji mgr inż. Magda Pęska**

Podstawą formalną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo z dn. 16.06.2023 Pana Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Czupryńskiego, Dziekana Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Recenzja została opracowana zgodnie z Ustawą Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. 2023 poz. 742 z późn. zm.).

Recenzowana rozprawa doktorska została zrealizowana na Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej pod opieką promotorską Panów: płk. dr hab. inż. Marka Polańskiego, prof. WAT i dr hab. inż. Adama Dębskiego, prof. PAN, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej.

Praca doktorska poświęcona jest opracowaniu materiałów na bazie wybranych grup stopów magnezu o strukturze roztworów stałych i ich mieszanin oraz stopów na podstawie faz międzymetalicznych do reakcji z gazowym wodorem, a w konsekwencji opracowanie skutecznej metody syntezy materiałów na bazie magnezu do magazynowania wodoru.

---

**Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw**

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,  
tel. +48 12 617 21 23, fax +48 12 617 45 47  
e-mail: Monika.Motak@agh.edu.pl

W ostatnich latach, ze względu na trudną sytuację geopolityczną i niepewność dostaw paliw kopalnych a w szczególności ropy naftowej i gazu ziemnego dużym zainteresowaniem jako nośnik energii cieszy się wodór. Unia Europejska i Stany Zjednoczone Ameryki dofinansowują liczne projekty związane z szeroko pojętą gospodarką wodorową. Produkcja zielonego wodoru, jego magazynowanie, przesył i wykorzystanie w procesach pozyskiwania energii są intensywnie badane przez wiodące ośrodki naukowe na świecie. Szczególnie dużo uwagi poświęca się badaniom dotyczącym wykorzystania wodoru w transporcie. Ciągłe jednak brakuje dojrzałych technologii i materiałów do bezpiecznego magazynowania wodoru i kontrolowanego uwalniania jego potencjału. Jedną z takich metod, która potencjalnie może być użyteczna jest magazynowanie wodoru w fazie stałej. Takie magazynowanie jest najbardziej wydajne (objętościowo) i bezpieczne. Przechowywanie wodoru w fazie stałej odbywa się na dwa sposoby. Po pierwsze poprzez absorpcję wodoru na powierzchni ciała stałego lub poprzez pochłanianie wodoru w pełnej objętości. Do drugiej z wymienionych metod zalicza się, magazynowanie wodoru z wykorzystaniem wodorków metali. Istnieje jednak wiele grup materiałów metalicznych mogących znaleźć zastosowanie jako materiały wodorochłonne i są one w ostatnim czasie szeroko badane.

Przedstawiona do recenzji dysertacja dotyczy preparatyki, charakterystyki i badania właściwości sorpcyjnych materiałów na bazie wybranych grup stopów magnezu o strukturze roztworów stałych i ich mieszanin oraz stopów na osnowie faz międzymetalicznych do reakcji z gazowym wodorem. Powiązано komponenty i metodę preparatyki z reaktywnością poszczególnych składników z wodorem oraz z zachodzącymi na granicy faz (licznych w tym przypadku) procesami dyfuzji.

W tym odniesieniu, tematyka dysertacji jest bardzo aktualna i wypełnia zapotrzebowanie na badania dotyczące materiałów do magazynowania wodoru.

Praca ma tradycyjny układ, typowy dla eksperymentalnych prac doktorskich. Napisana jest w języku polskim. Na pracę składa się część literaturowa i doświadczalna, co daje łącznie 159 stron. Bibliografia obejmuje 186 pozycji literaturowych. W skład pracy wchodzi: 94 rysunki, 28 tabel, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz symboli i oznaczeń. Cała dysertacja liczy 193 strony. W rozdziale pierwszym składającym się z czterech podrozdziałów Doktorantka przedstawia informacje dotyczące magazynowania wodoru w różnych warunkach fizykochemicznych z uwzględnieniem fazy stałej w tym magazynowania w wodorkach i stopach metali. Szczególnie dużo uwagi poświęcono omówieniu magazynowania wodoru w stopach magnezu z innymi metalami oraz tlenkami i halogenkami. W tym miejscu omówiono także termodynamiczne aspekty reaktywności i stabilności materiałów wodorochłonnych oraz metody syntezy w tym syntezę mechaniczną takich materiałów. Ostatni podrozdział to podsumowanie przeglądu literatury, które moim zdaniem byłoby bardzo dobrym wstępem dla dysertacji, ale w tym miejscu także się sprawdza.

W rozdziale drugim znajdujemy jasny opis celu pracy jakim było badanie zdolności wybranych grup stopów magnezu o strukturze roztworów stałych i ich mieszanin oraz stopów na osnowie faz międzymetalicznych do reakcji z gazowym wodorem. Celem dodatkowym pracy było opracowanie skutecznej metody syntezy materiałów do magazynowania wodoru na bazie magnezu, w szczególności w przypadku zastosowania materiałów, które wykazują znaczną różnicę w gęstości i temperaturze topnienia pierwiastków składowych. Przy planowaniu badań założono dwie hipotezy badawcze:

- 
- skład fazowy stopów będzie bardziej wpływał na zdolność do reakcji stopów z wodorem niż skład chemiczny a sama zawartość magnezu w stopie nie jest czynnikiem wystarczającym do zaobserwowania reakcji stopu z wodorem;
  - mechaniczna synteza pozwoli na bardzo skuteczne wytwarzanie faz międzymetalicznych na bazie magnezu, bez względu na różnice w gęstości i temperaturze topnienia między magnezem a drugim składnikiem.

Rozdział trzeci opisuje technologie wytwarzania materiału oraz metodyki badawcze. To część eksperymentalna, rozpoczynająca się od opisu metod syntezy materiałów, metod charakterystyki fizykochemicznej otrzymanych układów, badanie kinetyki absorpcji wodoru. Rozdział czwarty dysertacji to wyniki i dyskusja, w tym miejscu w poszczególnych podrozdziałach omówiono szczegółowo wyniki badań dla otrzymanych próbek stopów. Na końcu każdego podrozdziału zamieszczone jest podsumowanie. Ostatnia część pracy stanowiąca rozdział 5 to syntetycznie zebrane „Podsumowanie badań i wnioski końcowe”.

Lektura przedstawionej do oceny pracy doktorskiej była dużym wyzwaniem dla recenzenta, gdyż praca jest wielowątkowa a badania bardzo szczegółowo analizowane. Za bardzo cenne uznaję podsumowania na końcu każdego podrozdziału, co porządkuje analizowanie danych i ułatwia śledzenie kolejnych badań. Pani Magda Pęska postawiła sobie jasny cel pracy i wytyczyła drogę do jego osiągnięcia.

W toku realizacji pracy i analizy wyników szczególnie zwrócono uwagę na następujące aspekty:

- interakcję wodoru z magnezem związanym pod różną postacią tj. roztworów, mieszanin na osnowie roztworów stałych, oraz faz międzymetalicznych;

- 
- problemy jakie pojawiają się podczas otrzymywania stopów na bazie magnezu z metalami szlachetnymi (Pd, Pt, Ag), metodą topienia i odlewania;
  - reakcję wodoru ze stopami na bazie magnezu zachodzącymi podczas mielenia reaktywnego;
  - określenie wpływu obróbki termicznej na właściwości strukturalne i morfologię badanych układów;
  - określenie parametrów morfologicznych wpływających na właściwości absorpcyjne względem wodoru.

Wykonano szereg materiałów, które poddano starannej charakterystyce. Na podkreślenie zasługuje adekwatny do zamierzonych celów wybór metod badawczych, który pozwala na pełną analizę struktury i morfologii badanych materiałów, a jednocześnie nie jest nadmierny w stosunku do realizowanego tematu, co niestety bywa często stosowane w pracach naukowych. Użyte metody obejmują: dyfrakcję promieni rentgenowskich (XRD), skaningową mikroskopię elektronową (SEM) z analizą EDS, skaningową kalorymetrię różnicową (DSC), analizę termogravimetryczną (TGA), oraz w DSC/TGA sprzężoną ze spektroskopią mas.

Najważniejszymi rezultatami prowadzonych badań jest:

- określenie zależności między ilością litu w stopach układu Mg-Li a ich reaktywnością względem wodoru,
- określenie wpływu wygrzewania układów Mg-Ag, Mg-Pd, Mg-Pt na osiągnięcie stanu równowagowego,
- pokazanie, że magnez reaguje z wodorem w każdym przypadku tj. zarówno będąc pod postacią roztworu, mieszaniny podeutektycznej czy fazy międzymetalicznej z innym pierwiastkiem,
- powiązanie budowy i właściwości strukturalnych i absorpcyjnych badanych układów z metodą ich preparatyki,

- 
- pokazanie, że stopy z układu Mg-Pt oraz Mg-Pd reagują z wodorem zarówno w wyniku wygrzewania pod ciśnieniem wodoru oraz w wyniku mielenia reaktywnego pod ciśnieniem wodoru,
  - pokazanie, że mielenie reaktywne pod ciśnieniem wodoru charakteryzuje się większą efektywnością procesu pochłaniania wodoru, niż wygrzewanie pod ciśnieniem tego gazu.

W toku realizacji pracy Doktorantka wykonała szereg testów adsorpcji/desorpcji wodoru czy na ich podstawie można określić czy badane materiały dają możliwość kontrolowanej desorpcji wodoru, w zakładanych dla potencjalnego procesu (np. w ogniwie wodorowym) stężeniu i szybkości?

Praca doktorska Pani mgr inż. Magdy Pęskiej jest dobrze zaplanowana i zrealizowana. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że dyskusja wyników oraz wnioski zostały oparte na analizie obszernego materiału badawczego, co świadczy o dużej wiedzy i umiejętnościach Doktorantki. Autorka nie wahała się opisać w pracy także eksperymenty, które nie przyniosły zakładanego rezultatu, zawsze też starała się wyjaśnić dlaczego tak jest. Doktorantka wykazała umiejętność krytycznej analizy wyników i ich interpretacji na tle literatury przedmiotu. Dowodzi tego nie tylko lektura części literaturowej przedstawionej rozprawy, ale i dyskusja wykonanych badań. Praca doktorska została starannie przygotowana pod względem edytorskim. Choć całość napisana jest zrozumiałym językiem, a rysunki są przejrzyste i czytelne, niekiedy w tekście napotkać można pojedyncze literówki oraz błędy interpunkcyjne jak choćby w tytule przytaczanej pozycji literaturowej 38. Autorka używa czasem nieprecyzyjnych dla pracy naukowej zwrotów jak np. „...dość wysoka stabilność powstałego wodorku magnezu...” str.10 (na tej stronie dość użyte jest 3 razy); „...wodór jest zużywany w dość krótkim czasie...” str.20; „...dość wrażliwe...”, „...dość szeroki zakres...”, str. 30; dość stabilny str. 34 „dość

---

jednorodny ..." str.112; dość pojawia się 65 razy w pracy i w większości przypadków podane są konkretne informacje o omawianym parametrze. Pojawiają się też sformułowania żargonowe jak np. „odchyłki pomiarów” str.115,154, etc.

Wszystkie powyższe uwagi mają przede wszystkim charakter dyskusyjny i nie pomniejszają wartości poznawczej i aplikacyjnej rozprawy. Dysertacja cechuje się dobrym poziomem naukowym, przedstawione wyniki badań są spójne a większość przeprowadzonych badań została opublikowana w postaci artykułów oraz patentów lub zgłoszeń patentowych. Przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliły na osiągnięcie celu pracy zdefiniowanego w rozdziale drugim dysertacji.

### **Konkluzja recenzji**

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska, której Autorem jest Pani mgr inż. Magda Pęska przedstawia oryginalne podejście do opracowania nowych materiałów na bazie stopów magnezu do reakcji z wodorem. Uzyskane w toku realizacji pracy wyniki wykazują, niezbędne w pracach naukowych nowości, czego dowodem jest czternaście opublikowanych artykułów naukowych w czasopismach indeksowanych w bazie JCR (Autorka w pracy podała tylko sześć ale rozumiem, że to te bezpośrednio związane z tematem dysertacji).

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Synteza wybranych stopów na bazie magnezu oraz ich właściwości w aspekcie zdolności do reakcji z wodorem”, której Autorem jest Pani mgr inż. Magda Pęska spełnia wymagania formalne w odniesieniu do prac doktorskich i odpowiada wymogom Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. 2023 poz. 742 z późn. zmianami) i stawiam wniosek do Rady Dyscypliny

---

Inżynieria Materiałowa WAT o dopuszczenie Doktorantki do dalszych czynności w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora.

Biorąc pod uwagę dużą wartość merytoryczną pracy, imponujący dorobek publikacyjny (14 publikacji, 106 cytowań, H = 6), współautorstwo 4 patentów/ zgłoszeń patentowych oraz bardzo duże zaangażowanie Autorki w prace naukową Zespołu wyrażającą się w pracy na rzecz realizacji projektów badawczych, wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie o rozważenie wyróżnienia pracy, o ile spełnia inne stawiane przez Radę wymagania.

Dr hab. Monika Motak, prof. AGH