



Lublin, 24 czerwca 2018

**OCENA****osiągnięcia naukowego pt.****„Odzysk metali szlachetnych w szczególności złota, platyny i palladu z silnie rozcieńczonych roztworów zawierających ich kompleksy w układzie Me(II,III,IV)-Cl·H<sub>2</sub>O”****oraz****całości kształtu dorobku badawczego, dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Marka Wojnickiego**

Podstawą opracowania niniejszej recenzji było pismo Dziekana Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie Prof. dr hab. Tadeusza Knycha z dnia 29 maja 2018 r. z informacją o powołaniu mnie decyzją Komisji do Spraw Stopni i Tytułów Naukowych w dniu 11 maja 2018 r. na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Marka Wojnickiego. Recenzję przygotowałam na podstawie otrzymanej dokumentacji obejmującej: Wniosek dr inż. Marka Wojnickiego z dnia 6 lutego 2018 r. do Komisji do Spraw Stopni i Tytułów Naukowych o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego, Autoreferat w języku polskim i angielskim, publikacje oraz załączniki zawierające wszystkie wymagane dokumenty oraz informacje.

**Informacje ogólne**

Dr inż. Marek Wojnicki ukończył studia inżynierskie, a następnie magisterskie na kierunku Mechanika i budowa maszyn na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w latach 2007 i 2008, uzyskując tytuł magistra chemii po obronie pracy dyplomowej „Wyznaczanie strat energii cieplnej na rurociągach parowych metodami termowizyjnymi”, wykonanej pod

kierunkiem dr inż. Włodzimierza Sobolewskiego. Równolegle studiował na kierunku Metalurgia na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH i w roku 2008 uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera po obronie pracy dyplomowej „Kinetyka adsorpcji kompleksów chlorkowych złota (III) na węglu aktywnym”, wykonanej pod kierunkiem dr inż. Krzysztofa Paclawskiego. W roku 2009 rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH, które ukończył w roku 2014 obroną pracy doktorskiej „Kinetyka adsorpcji kompleksów Au, Pt, Pd na węglu aktywnym”, której promotorem był prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH.

### **Ocena osiągnięcia naukowego przedstawionego w przewodzie habilitacyjnym**

Na osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego przez dr inż. Marka Wojnickiego składa się cykl 12 artykułów wraz z komentarzem. 11 spośród tych artykułów zostało opublikowanych w czasopismach z bazy JCR: *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* (2), *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (1), *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* (1), *Australian Journal of Chemistry* (2), *Reaction Kinetics Mechanisms and Catalysis* (2), *Journal of Molecular Structure* (1) oraz *Archives of Metallurgy and Materials* (2), natomiast jeden wydano w czasopiśmie *Rudy i Metale Nieżelazne*. Wśród publikacji z cyklu habilitacyjnego należy wyróżnić 3 samodzielne artykuły, w tym 2 w czasopismach z bazy JCR. W większości (7/9) z pozostałych artykułów z cyklu habilitacyjnego dr inż. Wojnicki był pierwszym autorem, a Jego udział polegający na wykonywaniu badań, analizie wyników i redakcji pracy był duży: w 5 wynosił 80%, a w 4 od 60 do 85%. Dla wszystkich publikacji Habilitant określił zarówno swój procentowy udział w ich powstaniu jak i doprecyzował na czym polegał Jego wkład w badania i opis uzyskanych wyników. W dokumentacji są oświadczenia wszystkich współautorów potwierdzające deklarowany udział dr inż. Wojnickiego w tych publikacjach. Z wyjątkiem 1 artykułu opublikowanego w czasopiśmie *Rudy i Metale Nieżelazne* w języku polskim, pozostałe są w języku angielskim. Sumaryczny IF publikacji z cyklu habilitacyjnego 18,718.

Cel badań stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego dr inż. Marka Wojnickiego to opracowanie efektywnych metod odzysku wybranych metali szlachetnych z silnie rozcieńczonych roztworów, w przypadku których nie można

stosować klasycznych metod strąceniowych. Badania prowadzone były dla układów homogenicznych z zastosowaniem kilku reduktorów formie jonowej lub molekularnej oraz dla układów heterogenicznych, w których wykorzystano adsorbenty węglowe. Komentarz do cyklu 12 artykułów rozpoczyna krótki wstęp wskazujący na kierunek i cel badań, aspekt ekonomiczny i ekologiczny odzyskiwania metali w procesach technologicznych oraz ograniczenia obecnie stosowanych metod.

W badaniach nad odzyskiem metali w układach homogenicznych wykorzystano jako reduktory dimetyloamino boran, metal oraz jony żelaza (II). Wyniki badań są przedstawione w pracach A.3, A.4, A.8, A.10, A11, A12. W przypadku zastosowania dimetyloamino boranu (A.10) jako reduktora nie uzyskano satysfakcjonujących wyników, zarówno ze względu na wysokie koszty, toksyczność, jak i tworzenie zawiesin koloidalnych metali uniemożliwiających ich filtrację. W kolejnych pracach (A.11, A.12, A.3) przeanalizowano możliwość wykorzystania fotochemicznej redukcji przy użyciu jako reduktora metanolu; przebadano mechanizmy zachodzących w tych układach reakcji. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania tej metody do separacji metali dzięki ich selektywnej reakcji z reduktorem przy zastosowaniu odpowiedniej długości fali do wzbudzania określonego typu jonów. Metoda ta została przedstawiona w zgłoszeniu patentowym. Metoda fotoredukcji również wykazuje ograniczenia w stosowalności ze względu na możliwość tworzenia zawiesin koloidalnych i toksyczność metanolu. Dalsze badania Habilitanta zostały więc ukierunkowane na wykorzystanie reduktora nieorganicznego, jonów  $Fe^{2+}$  (A.8). W przypadku tych układów nie stwierdzono formowania fazy koloidalnej; w wyniku reakcji redukcji otrzymano fazę metaliczną. Ograniczeniem tej metody jest możliwość jej zastosowania tylko do złota, w przypadku kompleksów chlorkowych platyny i palladu nie można jej wykorzystać ze względu na wyższe potencjały redoks. Ze względu na znaczenie ekonomiczne procesu odzyskiwania Pt oraz Pd przebadano też wykorzystanie mrówczanu potasu jako reduktora, co związane jest z jego wykorzystaniem w procesach hydrometalurgicznych w KGHM Polska Miedź. W pracy (A.4) przeanalizowano wieloetapowy proces redukcji mrówczanem i oceniono jego efektywność jako dość niską ze względu na tworzenie koloidów.

Ograniczenia metod odzysku metali szlachetnych w układach homogenicznych przy wykorzystaniu różnych reduktorów skłoniły Habilitanta do podjęcia próby zastosowania metod adsorpcyjnych z wykorzystaniem węgla aktywnych. W cyklu prac (A1, A.2, A.5-7, A.9) przedstawiono wyniki badań nad mechanizmem i kinetyką

procesów adsorpcji kompleksów chlorkowych jonów metali szlachetnych. W przypadku złota uzyskano bardzo dobre wyniki – stwierdzono, że kinetyka procesu adsorpcji jest kontrolowana dyfuzyjnie, co pozwoliło na zastosowanie efektywnego układu do odzysku metalu na drodze adsorpcji i redukcji na materiale węglowym. Otrzymane wyniki pozwoliły na opracowanie zgłoszenia patentowego dotyczącego selektywnego odzysku złota w procesach hydrometalurgicznego przerobu odpadów poprzez wykorzystanie adsorpcji jonów na węglu aktywnym z równoczesną redukcją do formy metalicznej. Proces ten wykazuje wysoką efektywność – usunięcie do 99% złota i separację od mniej szlachetnych metali.

Badania nad wykorzystaniem metod adsorpcyjnych do odzysku metali zostały następnie rozszerzone przez Habilitanta na kompleksy chlorkowe palladu i platyny. W przypadku tych metali stwierdzono odmienny mechanizm procesów adsorpcji. Dla Pt(IV) zauważono redukcję do Pt(II) bez tworzenia fazy metalicznej na powierzchni materiału węglowego. Badania w tym układzie prowadzono w warunkach zmiennego pH; wykazano istotny wpływ formy kompleksu chlorkowego Pt(IV) na mechanizm reakcji powierzchniowych. Do opisu procesu zaproponowano model uwzględniający ustalenie równowagi pomiędzy jonami adsorbentu w roztworze objętościowym i fazie powierzchniowej, a następnie redukcję powierzchniową. Podobne badania przeprowadzono dla jonów palladu.

Reasumując można stwierdzić, że cykl artykułów przedstawiony przez dr inż. Marka Wojnickiego w postępowaniu habilitacyjnym należy ocenić wysoko, biorąc pod uwagę zarówno poziom naukowy jaki i aspekt aplikacyjny. Habilitant przeprowadził szerokie badania nad różnymi metodami odzysku metali szlachetnych w układach homo- i heterogenicznych. Wykazał się umiejętnością planowania badań, stosowania różnych metod doświadczalnych w celu pełnego opisu procesów zachodzących w badanych układach, umiejętnością prawidłowej analizy otrzymanych wyników. Osiągnął stawiane sobie cele, wyniki badań opublikował w dobrych czasopismach o obiegu międzynarodowym, opracował zgłoszenia patentowe oparte na uzyskanych wynikach. Udowodnił, że potrafi efektywnie pracować zarówno w grupie badawczej jak i prowadzić samodzielną działalność naukowo-badawczą. Na podkreślenie zasługują badania nad zastosowaniem metod adsorpcyjnych do odzysku metali z wykorzystaniem węgla aktywnych, które stanowią tańszą alternatywę dla często stosowanych żywic jonowymiennych. Istotnym osiągnięciem jest przygotowanie 2 zgłoszeń patentowych na bazie wyników badań nad wykorzystaniem



fotokemicznej redukcji do separacji metali dzięki ich selektywnej reakcji z reduktorem oraz nad wykorzystaniem adsorpcji jonów na węglu aktywnym z równoczesną redukcją do formy metalicznej do selektywnego odzysku złota w procesach hydrometalurgicznego przerobu odpadów. W przypadku komentarza do cyklu habilitacyjnego zabrakło mi jednak szerszego podsumowania przeprowadzonych badań. Ponadto w przedstawionej dokumentacji brak jest informacji o prezentacjach konferencyjnych Habilitanta.

### **Ocena całokształtu dorobku naukowego**

Badania naukowe nad adsorpcją kompleksów jonów metali na ciałach stałych dr inż. Marek Wojnicki rozpoczął już w trakcie realizacji pracy magisterskiej. Uzyskane w tym czasie wyniki dotyczące adsorpcji kompleksów jonów złota na węglu aktywnym zostały opublikowane w czasopiśmie z bazy JCR. Zapoczątkowaną tematykę kontynuował i rozszerzył w czasie studiów doktoranckich na badania nad adsorpcją kompleksów Au, Pt i Pd. Po podjęciu zatrudnienia na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH prowadzone dotychczas badania zostały rozwinięte w kierunku praktycznego wykorzystania procesów adsorpcji kompleksów metali do odzysku metali szlachetnych. Zakres badań, w których realizacji uczestniczył i obecnie uczestniczy Habilitant jest znacznie szerszy. Prowadzi m.in. badania w ramach współpracy międzynarodowej oraz partnerstwa uczelni z przemysłem. Na podkreślenie zasługują m.in. prowadzone wspólnie z partnerami przemysłowymi prace nad komercjalizacją procesu konwersji ditlenku węgla do metanu na drodze katalitycznej redukcji CO<sub>2</sub>, współpraca w zakresie przetwórstwa odpadów z procesu przeróbki ropy, czy też współpraca z Mennicą Metale Szlachetne. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant odbył 3 staże krajowe, w tym 1-miesięczny, 3-miesięczny i 6-miesięczny oraz miesięczny staż zagraniczny w Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf. Prowadzi wieloletnią współpracę w badaniach nad nanomateriałami z grupą prof. Hessela z Technische Universiteit Eindhoven, której wyniki zostały już opublikowane lub są przygotowywane do druku. Dr inż. Marek Wojnicki współpracuje również z dr Mutschke z Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf nad zastosowaniem mikroreaktorów do separacji jonów w polu magnetycznym oraz z dr Cristofolini z University of Bologna nad oddziaływaniami pól elektromagnetycznych na jony metali przejściowych. Badania nad nanomateriałami, recyklingiem metali

i fotokatalizą prowadzi również we współpracy z innymi krajowymi ośrodkami naukowymi.

Dr inż. Marek Wojnicki wykazuje też dużą aktywność w pozyskiwaniu środków zewnętrznych na badania. Sprawował i sprawuje funkcję kierownika w 5 projektach badawczych i pracach zleconych, w jednym był kierownikiem zadania, natomiast w 7 wykonawcą. Należy tu podkreślić uzyskanie finansowania dla dwu projektów w ramach konkursów Iuventus Plus i Sonata w NCN. Otrzymał również stypendium dla Wybitnych Młodych Naukowców przyznawane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Do uzyskania stopnia doktora w roku 2014 dorobek publikacyjny dr inż. Marka Wojnickiego jest znaczący i obejmuje 19 artykułów, z których duża część (11) została opublikowana w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science (JCR). Według wykazu publikacji Habilitant publikował w takich czasopismach jak: *Nonferrous Metals Society of China* (1), *Archives of Metallurgy and Materials* (2), *Chemical Engineering Journal* (3), *Inorganica Chimica Acta* (1), *Pharmacological Reports* (1), *Surface and Coatings Technology* (1), *Hydrometallurgy* (2), *Materials Sciences and Applications* (1), *Rudy i Metale Nieżelazne Recykling* (3), *Rudy i Metale Nieżelazne* (4). Sumaryczny IF prac opublikowanych przed doktoratem wynosi 23,871. Jak wynika z danych przedstawionych przez dr inż. Wojnickiego Jego udział w badaniach i redagowaniu większości z tych prac był znaczący, w pięciu wynosił 70-90%, w siedmiu wynosił 45-55% i w kolejnych siedmiu 5-30%. Świadczy to o dużym zaangażowaniu Habilitanta w badania od początku Jego kariery naukowej. Reasumując, dorobek naukowy dr inż. Wojnickiego przed uzyskaniem stopnia doktora należy uznać za znaczący dla tego okresu rozwoju kariery naukowej.

Wyniki badań prowadzonych po uzyskaniu stopnia doktora nauk chemicznych dr inż. Marek Wojnicki opublikował w 27 artykułach w czasopismach indeksowanych w bazie JCR i 7 artykułach w wydawnictwach nie indeksowanych w bazie JCR. Publikacje te ukazały się w czasopismach: *Journal of Chemical & Engineering Data* (1), *International Journal of Chemical Kinetics* (1), *Pharmacology & Toxicology* (1), *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* (2), *Applied Surface Science* (1), *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* (1), *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* (1), *Australian Journal of Chemistry* (2), *Journal of Colloid and Interface Science* (1), *Reaction Kinetics Mechanisms and Catalysis* (2), *Journal of Molecular Structure* (1), *Journal of Flow Chemistry* (2), *Journal of*

*Electroanalytical Chemistry* (1), *Archives of Metallurgy and Materials* (6), *Magnetohydrodynamics* (1), *Przemysł Chemiczny* (1), *Pharmacological Reports* (1), *Surface and Coatings Technology* (1), *Rudy i Metale Nieżelazne Recykling* (6), *Zaawansowane Materiały I Technologie ich Wytwarzania* (1). W tym zestawieniu mieści się też cykl 12 artykułów wchodzących w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Udział dr inż. Wojnickiego w powstaniu tych prac był w większości przypadków duży: w 3 wynosił 100%, w 16 został oszacowany na 50-85%, natomiast w 12 wynosił 10-40%, a w 3 – 5%. Taki stopień zaangażowania w badania i redakcję artykułów świadczy bardzo dobrze o predyspozycjach Habilitanta do samodzielnej pracy naukowej. Sumaryczny IF artykułów opublikowanych po doktoracie wynosi 42,54, co oznacza dużą aktywność publikacyjną i jej systematyczny wzrost.

Sumaryczny dorobek publikacyjny dr inż. Marka Wojnickiego to 53 artykuły, w tym 38 opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR, 15 opublikowanych w innych wydawnictwach. Większość z tych prac ukazała się w dobrych i bardzo dobrych czasopismach. Sumaryczny IF wszystkich publikacji wynosi 66,411, liczba cytowań 239, w tym bez autocytowań 156, a h-index (Indeks Hirscha) równy jest 11. Dr inż. Marek Wojnicki jest też współautorem 6 patentów i zgłoszeń patentowych, co potwierdza aplikacyjny charakter prowadzonych przez Niego badań. Zważywszy na relatywnie krótki czas aktywności naukowej Habilitanta (2008-2018) osiągnięte przez Niego wyniki można określić jako bardzo dobre. Podsumowując mogę stwierdzić, że dr inż. Marek Wojnicki prowadził od początku swojej kariery naukowej intensywną działalność badawczą, zarówno samodzielną jak i w różnych grupach badawczych, tematyka badawcza była i jest szeroka o dużym potencjale aplikacyjnym. Habilitant opublikował dużą liczbę artykułów w dobrych czasopismach o obiegu międzynarodowym, relatywnie wysoka liczba cytowań świadczy o zainteresowaniu prowadzonymi przez Niego badaniami.

### **Ocena działalności dydaktycznej**

Dr Marek Wojnicki prowadzi na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH różnego typu kursowe zajęcia laboratoryjne, ćwiczenia, projekty oraz wykłady z kilkunastu przedmiotów, a także seminaria i pracownie magisterskie i dyplomowe. Opracował wykłady oraz ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu *Nanomaterials and nanocomposites*. Był również autorem różnego typu materiałów dydaktycznych. Był

promotorem 5 prac magisterskich i 6 inżynierskich. Różnorodność zajęć dydaktycznych (m.in. chemia ogólna, technologie informatyczne, transport masy i ciepła) prowadzonych przez dr Marka Wojnickiego potwierdza Jego bardzo dobre przygotowanie do kształcenia studentów różnych kierunków i specjalności. Należy podkreślić doświadczenie w opracowaniu i prowadzeniu wykładów, co potwierdza przygotowanie do roli samodzielnego pracownika również w zakresie działalności dydaktycznej. Dr Wojnicki jest również promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim „Analiza transportu jonów metali ziem rzadkich w niejednorodnym polu magnetycznym”.

### **Ocena działalności organizacyjnej**

Dr Marek Wojnicki bierze aktywny udział w różnych przedsięwzięciach organizowanych przez Wydział Metali Nieżelaznych AGH. Należy tu wyróżnić uczestnictwo przy organizacji konferencji naukowej, jak też Festiwalu Nauki, Małopolskiej Nocy Naukowców i pokazów chemicznych. Na szczególne podkreślenie zasługuje działalność popularyzacyjna dla dzieci i młodzieży. Za działalność organizacyjną i popularyzatorską dr inż. Wojnicki otrzymał Nagrodę Rektora AGH.

### **Wniosek końcowy**

Podsumowując mogę stwierdzić, że przedstawiony do oceny cykl publikacji wraz komentarzem stanowi spójne tematycznie dzieło o dobrym poziomie naukowym. Analiza tego materiału pozwala na stwierdzenie, że dr inż. Marek Wojnicki posiada kwalifikacje niezbędne do prowadzenia samodzielnej działalności badawczej. Poziom prac wchodzących do cyklu habilitacyjnego jest wysoki. Autor potrafi samodzielnie zaplanować badania, zrealizować je i przeanalizować, zaproponować nowe metody analizy wyników. Mogę więc stwierdzić, że przedłożone do oceny osiągnięcie spełnia warunki określone w ustawie o stopniach i tytule naukowym i proszę Radę Naukową Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie dr inż. Marka Wojnickiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

*A. Deryło-Marczewska*

Prof. dr hab. Anna Deryło-Marczewska