

Prof. dr hab. inż. Wiesław Gawęł
emerytowany profesor UMW
Katedra i Zakład Chemii Analitycznej
Wydział Farmaceutyczny
Uniwersytetu Medycznego
ul. Borowska 211A
50-556 Wrocław

Recenzja

**dorobku naukowego, działalności dydaktycznej i organizacyjnej oraz rozprawy habilitacyjnej
pt. „Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układach z galem”
dr inż. Dominiki Jendrzejczyk-Handzlik
w związku z postępowaniem habilitacyjnym na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii
Górnictwo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie**

1. Dane osobowe Kandydatki i jej rozwój naukowy

Dr inż. Dominika Jendrzejczyk-Handzlik ukończyła studia na Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Metali Nieżelaznych, w Specjalności Metalurgia, w Krakowie w 2003 r.

Na podstawie pracy magisterskiej pt. „Określenie szybkości korozji tytanu metodą badań polaryzacyjnych” uzyskała stopień magistra inżyniera. Po ukończeniu studiów podjęła pracę w Katedrze Chemii Fizycznej i Elektrochemii na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie, na stanowisku st. referenta technicznego (2004-2006), potem – asystenta w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych (2007-2008).

W wyniku obrony pracy doktorskiej pt. „Określenie właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów Ag-In-Sb i Ag-In-Sn metodą elektrochemiczną”, Rada Wydziału Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie nadała Jej w 2008r. stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie metalurgia. Promotorem tej pracy był prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner, a recenzentami – prof. dr hab. Lidia Burzyńska (AGH) i prof. dr hab. inż. Jan Botor (Inst. Metali Nieżelaznych w Gliwicach). W styczniu 2009 roku dr D. Jendrzejczyk-Handzlik została zatrudniona na stanowisku adiunkta w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych, gdzie pracuje dotychczas.

Rozwój naukowy Habilitantki został wzmocniony kilkoma krótkoterminowymi stażami naukowymi w ośrodkach uniwersyteckich we Włoszech, Francji i w Austrii.

Należy zauważyć, że tematyka zarówno pracy magisterskiej i doktorskiej, jak i staży naukowych, była konsekwentnie podporządkowana pokrewnym zagadnieniom w zakresie jednej

dyscypliny naukowej – metalurgii. Świadczy to o ściśle zdefiniowanych i zintegrowanych zainteresowaniach naukowo-badawczych dr Jendrzeczyk-Handzlik. Zdobyte doświadczenie i wiedza przydały się w realizacji 10 projektów naukowo-badawczych. Zwraca również uwagę fakt dużej dbałości Habilitantki o zdobycie doświadczenia w posługiwaniu się nowymi metodami badawczymi, dzięki czemu uzyskała biegłość w badaniach metodą elektrochemiczną, kalorymetryczną, analizy termicznej, skaningowej mikroskopii elektronowej, rentgenograficzną. Oprócz metod instrumentalnych, nabyła umiejętności w stosowaniu metody obliczeniowej CALPHAD pomocnej w przewidywaniu stanu równowag fazowych w niebadanych układach lub ich fragmentach.

Na szczególne podkreślenie zasługuje nadzwyczajne przyspieszenie rozwoju naukowego Kandydatki po uzyskaniu stopnia doktora, wyrażające się wielokrotnym wzrostem liczby publikacji z listy Journal Citation Reports, w porównaniu z okresem sprzed doktoratu, oraz podobnym wzrostem wartości sumarycznego IF (2,819 przed i 34,578 po doktoracie). Fakt, że ten świadczy o wielkiej pracowitości dr Dominiki Jendrzeczyk-Handzlik, doskonałym opanowaniu warsztatu badawczego i umiejętności pracy w zespole.

2. Ocena osiągnięcia naukowego (rozprawy habilitacyjnej)

Wyniki badań stanowiące podstawę rozprawy habilitacyjnej pt. „Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układach z galem” zostały przedstawione w dziesięciu tematycznie spójnych publikacjach wymienionych poniżej. Ponieważ większość tych prac stanowi również dorobek współautorów, do dokumentacji dołączone zostały odpowiednie ich oświadczenia.

Po ich lekturze, stwierdzam, że dr inż. Dominika Jendrzeczyk-Handzlik spełniała wiodącą rolę w doborze metod badawczych, zaangażowaniu w wykonanie eksperymentów, opracowaniu i interpretacji wyników, i redagowaniu prac do druku. Sumaryczna wartość IF prac wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej wynosi – 21,258.

1. D. Jendrzeczyk-Handzlik, K. Fitzner, **2011**, Thermodynamic properties of liquid silver-gallium alloys determined from e.m.f. and calorimetric measurements, Journal of Chemical Thermodynamics 43, 392-398.
2. W. Gierlotka, D. Jendrzeczyk-Handzlik, **2011**, Thermodynamic description of the binary Ag-Ga system, Journal of Alloys and Compounds 509, 38-42.
3. D. Jendrzeczyk-Handzlik, P. Handzlik, K. Fitzner, **2014**, Enthalpies of mixing of liquid Ag-Ga, Cu-Ga and Ag-Cu-Ga alloys, Calphad 44, 39-47.

4. D. Jendrzeczyk-Handzlik, K. Fitzner, W. Gierlotka, **2015**, On the Cu-Ga system: electromotive force measurement and thermodynamic reoptimization, *Journal of Alloys and Compounds* 621, 287-294.
5. D. Jendrzeczyk-Handzlik, K. Fitzner, **2015**, Thermodynamic stability of copper gallates determined from the EMF method, *Journal of Solid State Chemistry* 232, 207-212.
6. W. Gierlotka, D. Jendrzeczyk-Handzlik, K. Fitzner, P. Handzlik, **2015**, On the ternary Ag-Cu-Ga system: Electromotive force measurement and thermodynamic modeling, *Journal of Alloys and Compounds* 646, 1023-1031.
7. D. Jendrzeczyk-Handzlik, **2017**, Enthalpies of mixing of liquid Ag-Ga, Au-Ga and Ag-Au-Ga alloys, *The Journal of Chemical Thermodynamics* 107, 114-125.
8. D. Jendrzeczyk-Handzlik, **2017**, Thermodynamic study and reoptimization of the Au-Ga binary system, *Journal of Phase Equilibria and Diffusion* 38, 305-318.
9. D. Jendrzeczyk-Handzlik, **2017**, Phase equilibria in the ternary Ag-Au-Ga system: isothermal sections at 250°C and 450°C, *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy* 53 B, 215-222.
10. D. Jendrzeczyk-Handzlik, **2018**, Thermodynamic properties of liquid silver-gold-gallium alloys determined from EMF measurements with solid YSZ electrolyte, *Thermochimica Acta* 622, 126-134.

Poszukiwanie nowych materiałów o pożądanych właściwościach elektrycznych, mechanicznych, optycznych i innych, dawniej polegało na mieszaniu dwóch lub więcej składników w proporcjach dobranych intuicyjnie przez specjalistę, na podstawie posiadanego doświadczenia w dziedzinie techniki materiałowej. Takie postępowanie jest jednak „błędzeniem po omacku”. Wiadomo bowiem, że do tego celu bezwarunkowo konieczna jest znajomość charakteru wzajemnego oddziaływania składników, to znaczy znajomość charakterystyki termodynamicznej układu dwóch lub więcej składników, w tym głównie – wykresu równowag fazowych.

Pani dr inż. Jendrzeczyk-Handzlik objęła swym programem badawczym stopy metali z galem ze względu na ostatnio zwiększone zainteresowanie takimi materiałami. Sam pierwiastek gal jest metalem o szczególnych właściwościach; jego najważniejszą cechą budzącą zdumienie jest nader szeroki temperaturowy zakres ciekłości: od 29 °C do 2400 °C. Już sam ten fakt nasuwa pomysł o zastosowaniu go do projektowania stopów o niskich temperaturach topnienia, np. lutowi mogących zastąpić toksyczny ołów, obecnie wycofany z użycia. Gal już jest stosowany jako składnik stopów z manganem i niklem, posiadających pamięć kształtu; w stopach CIGS (Cu+In+Ga+Se) będących doskonałym materiałem do konstrukcji ogniw słonecznych; w stopach jubilerskich, np. do wytwarzania tzw. złota niebieskiego i wreszcie w dentystyce. Także związki

tego pierwiastka z azotowcami (GaN, GaP, GaAs) i jego tlenek Ga_2O_3 są stosowane w elektronice, przy czym ten ostatni jest wypróbowywany w pionierskich badaniach, jako składnik stałych elektrolitów wysokotemperaturowych ogniw paliwowych.

Jest więc aż nadto wiele powodów, uzasadniających wybranie przez Habilitantkę celu podjętych przez Nią prac badawczych, tj. **wyznaczenie charakterystyki termodynamicznej oraz zbadanie stanu równowag fazowych w układach trójskładnikowych Ag-Cu-Ga i Ag-Au-Ga.**

Jest rzeczą oczywistą, że do zrealizowania tych zadań, konieczne było wykonanie prac cząstkowych, mianowicie zbadanie pięciu dwuskładnikowych układów bocznych Ag-Cu, Cu-Ga, Ag-Ga oraz Ag-Au, Au-Ga, a dopiero potem - układów trójskładnikowych. W literaturze znaleziono wyczerpujące dane na temat dwóch z tych pięciu układów binarnych (Ag-Cu i Ag-Au), wobec czego celem prac doświadczalnych było zbadanie:

1. układu binarnego Cu-Ga (prace [3,4,5])
2. układu binarnego Ag-Ga [1,2,3,7]
3. układu binarnego Au-Ga [7,8]
4. układu potrójnego Ag-Cu-Ga [3,6]
5. układu potrójnego Ag-Au-Ga [7,9,10].

W badaniach zastosowano pięć metod eksperymentalnych oraz metodę obliczeniową Calphad.

Najważniejszą z nich jest metoda elektrochemiczna pomiarów sił elektromotorycznych ogniw stężeniowych. Pozwala ona bowiem na wyznaczenie pełnej charakterystyki termodynamicznej badanego układu i jest metodą najdokładniejszą. Dlatego Habilitantka słusznie tę metodę zastosowała w badaniach wszystkich wybranych układów w całym zakresie stężeń. Narzędziem w tej metodzie jest wysokotemperaturowe ogniwo chemiczne ze stałym elektrolitem cyrkonowym. Metoda kalorymetryczna pozwalała na wyznaczenie entalpii mieszania w wymienionych wyżej trzech układach binarnych. Analiza termiczna różnicowa (DTA) jest wygodną metodą do wyznaczania temperatur przemian fazowych; została wykorzystana do badania układu Au-Ga i do wyznaczenia linii likwidusa w układzie Au-Cu-Ga. Skaningowa mikroskopia elektronowa została użyta do określenia składu chemicznego faz w badanych układach trójskładnikowych. Metoda dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego umożliwiła identyfikację faz w układach potrójnych, istniejących w równowadze w różnych temperaturach. Metoda Calphad została wykorzystana do obliczenia lub zweryfikowania przebiegu linii reprezentujących przemiany fazowe we wszystkich badanych układach.

W układach binarnych Cu-Ga, Ag-Ga i Au-Ga równowagi fazowe ciec-ciało stałe były badane wcześniej przez innych autorów i do tych wyników pani Dominika Jendrzejczyk-Handzlik przeważnie nie ma zastrzeżeń. Natomiast dane o roztworach ciekłych w tych układach są skąpe, a ponadto niespójne, dlatego te roztwory poddała starannym badaniom.

Wyznaczyła aktywność galu w roztworach ciekłych, w prawie całym zakresie stężeń, w dwóch temperaturach, różniących się o ok. 200 K, przeważnie powyżej tysiąca kelwinów. W przypadku każdego układu stwierdziła ujemne odchylenia od prawa Raoult'a. Wykonała pomiary entalpii mieszania roztworów w tych układach, w dwóch temperaturach (dla układu Cu-Ga – w trzech), w przedziałach stężeń obejmujących, odpowiednio, 70, 50 i 60 % molowych Ga. W dwóch pierwszych układach zauważyła zależność entalpii mieszania od temperatury, a w układzie Au-Ga takiej zależności nie ma. W tym ostatnim układzie przeprowadziła badania metodą DTA stopów o składach 15, 25 i 40 % mol Ga w bardzo szerokim zakresie temperatur (od 473 K do 1300 K) celem weryfikacji temperatur przemian fazowych w tych stopach.

Uzyskane dane wykorzystano do obliczenia parametrów opisujących układy dwuskładnikowe metodą CALPHAD. Na podstawie obliczeń uzyskano zgodność wartości funkcji termodynamicznych z danymi eksperymentalnymi.

Układ trójskładnikowy Ag-Cu-Ga. Znalezione w literaturze informacje na temat równowag fazowych i właściwości termodynamicznych faz ciekłych w tym układzie są zaledwie szczątkowe, wobec czego dr inż. Dominika Jendrzejczyk-Handzlik podjęła się zadania kompleksowego ich zbadania. Przeprowadziła badania stopów Ag+Cu+Ga zarówno w fazie stałej, jak i ciekłej. W stałej – metodą DTA, rentgenograficzną i mikroskopii skaningowej. W ciekłej – metodą elektrochemiczną i kalorymetryczną. Pomiary kalorymetryczne wykonała wzdłuż dwóch przekrojów o stosunku molowym składników Cu:Ga = 1:1 i Ag:Ga = 1:1, w temperaturach 1128 K i 1273 K. Pomiary elektrochemiczne – w przedziale stężeń 30 – 80 % mol. Ga w 1023 K i w 1323 K. W stopach o składzie bliskim Cu, pomiary były niemożliwe na skutek reakcji miedzi z tlenkiem wolframu tworzącym się na powierzchni wolframowych przewodów łącznikowych. Skontrolowała stabilność (znanych z literatury) związków CuGaO_2 i CuGa_2O_4 przez wyznaczenie entalpii swobodnej reakcji ich tworzenia i wykluczyła możliwość ich powstawania w temperaturach swoich pomiarów. Metodą DTA wyznaczyła przebieg powierzchni likwidusa w tym układzie potrójnym. Na podstawie skonstruowanego diagramu równowag fazowych w układzie Ag-Cu-Ga stwierdziła tworzenie się dwóch związków podwójnych Ag_3Ga_2 i CuGa_2 , i brak związków potrójnych.

Powyższe wyniki stanowią znaczne uzupełnienie danych dostępnych w literaturze. Na ich podstawie zweryfikowano wcześniejszy opis tego układu.

Układ trójskładnikowy Ag-Au-Ga nie był dotychczas przedmiotem jakichkolwiek badań. Skłoniło to Habilitantkę do wyznaczenia kompletnego diagramu równowag fazowych i właściwości termodynamicznych w fazie ciekłej w tym układzie z zastosowaniem tych samych technik badawczych, jak w układzie Ag-Cu-Ga. Pomiary entalpii mieszania wykonała w 1223 K i 1323 K dla przekrojów Ag:Ga = 1:1 i Au:Ga = 1:1. Badania elektrochemiczne – w 1023 K i 1348K wzdłuż przekrojów Ag:Au = 2:1, 1:1 i 1:2, w przedziale 10 – 80 % mol Ga. Z otrzymanych wyników

można było dostrzec tendencję do tworzenia się związku potrójnego, jednak badania pozostałymi metodami nie potwierdziły tego, przynajmniej w temperaturach 523 K i 723 K, dla których skonstruowano przekroje izotermiczne diagramu fazowego tego układu.

Uzyskane wyniki są pierwszymi i jedynymi dostępnymi w literaturze na temat układu Ag-Au-Ga.

Z obowiązku recenzenta pragnę podkreślić wysoki stopień trudności prac przeprowadzonych przez Habilitantkę, ze względu na bardzo wysokie temperatury eksperymentu (ok. 1000 °C). Takie drastyczne warunki zmuszają do szczególnej staranności w zestawianiu aparatury i dbałości w zapewnieniu atmosfery beztlenowej w jej wnętrzu.

Reasumując, badania przedstawione w rozprawie habilitacyjnej oceniam bardzo wysoko. Wnosi ona szereg oryginalnych i wyróżniających się danych do metalurgii. Większość uzyskanych wyników spełnia kryterium użyteczności praktycznej. Na szczególne podkreślenie zasługuje bezsporny fakt wysokich umiejętności Eksperymentatorki w rozwiązywaniu problemów badawczych, zwłaszcza wymagających stosowania szerokiego spektrum metod i technik pomiarowych. Przekonuje to o Jej wysokich kompetencjach naukowych.

3. Ocena istotnej aktywności naukowej (dorobku naukowego)

Dr Dominika Jendrzejczyk-Handzlik jest autorem lub współautorem 42 publikacji, w tym 22 oryginalnych prac twórczych (po uzyskaniu stopnia doktora - 19) opublikowanych w czasopiśmie międzynarodowych oraz 11 komunikatów naukowych prezentowanych na konferencjach międzynarodowych i krajowych. W 17 opublikowanych pracach twórczych dr D. Jendrzejczyk-Handzlik jest pierwszym autorem (w tym: w 4 – jedynym), co informuje o wiodącej roli w przygotowaniu tych publikacji do druku. Zwraca również uwagę fakt, że spośród 11 komunikatów, po doktoracie zostało opublikowanych - 8. Z porównania liczby publikacji przed i po doktoracie, widać bardzo duży, skokowy wzrost aktywności Habilitantki w okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych. Według bazy Web of Science, stanowiącej aktualnie istotny element w ocenie dorobku naukowego, cytowalność prac dr Jendrzejczyk-Handzlik wynosi 102 (bez autocytowań – 63), zaś indeks Hirscha – 7. Sumaryczny IF osiągnął znaczącą wartość 37,397. Przedstawiony dorobek jest więc duży i urozmaicony.

Odrębną i bogatą część aktywności naukowej dr Dominiki Jendrzejczyk-Handzlik stanowi udział w dziesięciu projektach badawczych, w tym: 2 we współpracy z ośrodkami zagranicznymi, 6 projektów MNiSW, 2 w ramach programu Iuventus Plus. W trzech projektach Habilitantka była kierownikiem.

Pani dr inż. Jendrzejczyk-Handzlik całą swoją działalność naukową, poczynając od chwili zatrudnienia na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w roku 2004, ukierunkowała na badanie właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów metali w układach dwu- i trójskładnikowych. Początkowe prace objęły badania ciekłych układów Ag-In-Sb, Ag-In-Sn i Cu-In-Sn, przeprowadzone w ramach projektu Akcja COST 531 – Bezołowiowe materiały lutownicze (3 oryginalne prace twórcze). Podjęcie tej tematyki wiązało się z wprowadzoną właśnie Dyrektywą UE zakazującą stosowania ołowiu w tradycyjnych stopach lutowniczych.

W późniejszym okresie, uczestnicząc w realizacji projektu międzynarodowego COST MP0602, wykonała badania ciekłych układów Cu-Sb-Sn i Au-Sb-Sn (5 oryginalnych prac twórczych). W pracach kierowanego przez siebie projektu, w ramach programu Iuventus Plus, przeprowadziła badania termodynamiczne roztworów ciekłych w układzie Bi-Sb-O.

Habilitantka brała również udział w realizacji projektów zamawianych, jak: opracowanie technologii odzysku miedzi z żużli zawieszinowych, badania płyt akumulatorowych z efektem PCL, a także opracowanie metod odzysku metali szlachetnych w procesie recyklingu złomu elektronicznego. Prowadziła także prace eksperckie dla jednostek przemysłowych (KGHM Polska Miedź, Fenix Metals).

Do Jej dorobku naukowego należy również zaliczyć promotorstwo pomocnicze w jednym przewodzie doktorskim, otwartym na macierzystym Wydziale, na temat równowag fazowych w układzie Ag-Bi-Te.

O wysokim uznaniu w środowisku naukowym, dla Jej osiągnięć, świadczy fakt powołania do grona elitarnej organizacji Associated Phase Diagram and Thermodynamics Committee, skupiającej zaledwie kilkudziesięciu naukowców z krajów Europy Środkowej i Wschodniej. Jest również członkiem innego międzynarodowego towarzystwa naukowego The Minerals, Metals and Materials Society.

Warto jeszcze zauważyć, że dr D. Jendrzejczyk-Handzlik została poproszona przez redakcje czasopism indeksowanych w Journal Citation Reports o dokonanie recenzji 13 manuskryptów złożonych do opublikowania w tych czasopismach (od roku 2010). Świadczy to o Jej popularności jako znawcy zagadnień poruszanych w przedłożonych pracach.

4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Działalność dr inż. Dominiki Jendrzejczyk-Handzlik w omawianych obszarach pracy nauczyciela akademickiego zasługuje na uznanie ze względu na jej różnorodność. W zakresie dydaktyki jest Ona dobrze przygotowanym nauczycielem ze względu na umiejętności przekazywania wiedzy na różnych jej poziomach. Złożony charakter pracy dydaktycznej przejawia się prowadzeniem zajęć ze studentami różnych lat studiów na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH.

Prowadziła bowiem **ćwiczenia laboratoryjne** z chemii ogólnej i chemii nieorganicznej, **wykłady** z chemii metali i z obróbki cieplno-chemicznej materiałów metalicznych, **ćwiczenia audytoryjne** z chemii fizycznej i z teorii procesów metalurgicznych, a także – **laboratoria komputerowe**. Pod Jej kierunkiem, w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych, wykonano 5 prac magisterskich i 5 prac inżynierskich.

W sferze działalności organizacyjnej posiada także znaczący dorobek. Największym osiągnięciem jest urządzenie w macierzystej Katedrze wysokotemperaturowego laboratorium i jego wyposażenie w pracujące w wysokich temperaturach urządzenia (kalorymetr, piec), a także inne, włącznie ze specjalistycznym oprogramowaniem ThermoCalc.

Na terenie swej macierzystej Uczelni, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, była członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na Wydziale Metali Nieżelaznych, obecnie jest zastępcą przewodniczącego tej Komisji.

5. Wniosek końcowy

Oceniając całokształt dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, stwierdzam, że dr inż. Dominika Jendrzejczyk-Handzlik jest doświadczonym pracownikiem naukowym, dobrze przygotowanym do samodzielnego prowadzenia prac badawczych. Potwierdzeniem Jej umiejętności samodzielnego organizowania i prowadzenia badań jest interesująca rozprawa habilitacyjna pt. „Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układach z galem”, której wnioski mają wartość poznawczą i praktyczną. W sposób twórczy przyczyniają się do rozwoju nauk technicznych w dyscyplinie metalurgia, a także - chemia.

Wyrażam głębokie przekonanie, że dr inż. Dominika Jendrzejczyk-Handzlik spełnia wymagania kwalifikacyjne stawiane kandydatom na stopień doktora habilitowanego zgodnie z warunkami określonymi w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Z 2003 roku, nr 65, poz. 595 ze zm.) w brzmieniu nadanym ustawą z dnia 18 marca 2011 roku (Dz. U. nr 84, poz. 455) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 roku w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Dz. U. nr 196, poz. 1165).



Wrocław, 4 listopada 2018 r.