

Autoreferat

dr inż. Dominika Jendrzejczyk-Handzlik

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Metali Nieżelaznych

1. Imię i nazwisko:

Dominika Jendrzejczyk-Handzlik

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcje promotora i recenzentów

Doktor nauk technicznych

Kierunek: Metalurgia

Tytuł pracy: Określenie właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów Ag-In-Sb i Ag-In-Sn metodą elektrochemiczną.

Data obrony: 27.05.2008

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner

Recenzenci: prof. dr hab. Lidia Burzyńska (AGH),
prof. dr hab. inż. Jan Botor (Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach)

Magister inżynier

Kierunek: Metalurgia

Tytuł pracy: "Określenie szybkości korozji tytanu metodą badań polaryzacyjnych"

Data obrony: 01.07. 2003

Miejsce: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Adiunkt:

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych
01.01.2009 – obecnie

Asystent

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych
01.01.2007-31.12.2008

Starszy referent techniczny

Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Chemii Fizycznej i Elektrochemii
02.02.2004-31.12.2006

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Metalurgia zgodnie z 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

a. tytuł osiągnięcia naukowego

WŁASCIWOŚCI TERMODYNAMICZNE I RÓWNOWAGI FAZOWE W UKŁADACH Z GALEM

b. wykaz prac naukowych, dokumentujących osiągnięcie (osiągnięcia) naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

A.1 **D. Jendrzejczyk-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.

(Impact Factor: 2.422)

(Lista MNiSW.: 35)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów metodą elektrochemiczną oraz kalorymetryczną. Przeprowadziłam analizę uzyskanych wyników badań. Napisałam część pracy, wykonałam wszystkie rysunki i tabele oraz dokonałam korekty manuskryptu po recenzjach. Mój udział szacuję na **80%**.*

A.2 W. Gierlotka, **D. Jendrzejczyk-Handzlik**, 2011, Thermodynamic description of the binary Ag-Ga system, Journal of Alloys and Compounds 509, 38-42.

(Impact Factor: 2.289)

(Lista MNiSW.: 35)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu bazy termodynamicznej dla fazy ciekłej wykorzystanej do obliczenia układu Ag-Ga. Mój udział szacuję na **30%**.*

A.3 **D. Jendrzejczyk-Handzlik**, P. Handzlik, K. Fitzner, 2014, Enthalpies of mixing of liquid Ag-Ga, Cu-Ga and Ag-Cu-Ga alloys, Calphad 44, 39-47.

(Impact Factor: 1.370)

(Lista MNiSW.: 25)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań. Wykonałam pomiary metodą kalorymetryczną i przeprowadziłam analizę uzyskanych wyników badań. Napisałam treść publikacji, wykonałam prawie wszystkie rysunki i tabele oraz dokonałam korekty manuskryptu po recenzjach. Mój udział szacuję na **80%**.*

A.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.

(Impact Factor: 3.014)

(Lista MNiSW.: 35)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów metodą elektrochemiczną i przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników badań. Napisałam część pracy, wykonałam część rysunków oraz tabel. Dokonałam korekty manuskryptu po recenzjach. Mój udział szacuję na **45%**.*

A.5 **D. Jendrzeczyk-Handzlik**, K. Fitzner, 2015, Thermodynamic stability of copper gallates determined from the E.M.F.method, Journal of Solid State Chemistry 232, 207–212.

(Impact Factor: 2.265)

(Lista MNiSW.: 30)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów metodą elektrochemiczną a następnie przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników badań. Napisałam część pracy, wykonałam wszystkie rysunki oraz tabele. Dokonałam korekty manuskryptu po recenzjach. Mój udział szacuję na **60%**.*

A.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.

(Impact Factor: 3.014)

(Lista MNiSW.: 35)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów metodą elektrochemiczną a następnie przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników badań. Napisałam część pracy, wykonałam część rysunków oraz tabel. Dokonałam korekty manuskryptu po recenzjach. Mój udział szacuję na **40%**.*

A.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.

(Impact Factor: 2.784)

(Lista MNiSW.: 30)

*Mój udział w publikacji **100 %**.*

A.8 **D. Jendrzeczyk-Handzlik**, 2017, Thermodynamic Study and Re-optimization of the Au-Ga Binary System, Journal of Phase Equilibria and Diffusion 38, 305-318.

(Impact Factor: 0.748)

(Lista MNiSW.: 15)

*Mój udział w publikacji **100 %**.*

A.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 (3) B, 215-222.

(Impact Factor: 0.807)

(Lista MNiSW.: 30)

Mój udział w publikacji 100 %.

A.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.

(Impact Factor: 2.545)

(Lista MNiSW.:30)

Mój udział w publikacji 100 %.

- c. omówienie celu naukowego w/w pracy/prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

„Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układach z galem”

Metale szlachetne takie jak złoto, srebro, platyna oraz pallad są w Polsce odzyskiwane podczas produkcji miedzi i srebra przez KGHM Polska Miedź S.A. Następnie metale te są sprzedawane jako metale czyste. Jednoznacznie kojarzącym się z metalami szlachetnymi jest przemysł jubilerski. Różne kolory złota, które jest używane do produkcji wyrobów jubilerskich powstają poprzez wytworzenie stopów na bazie złota w których to rodzaj oraz ilość zastosowanych dodatków decydują o kolorze otrzymanego materiału. Obecnie najczęściej stosowanymi stopami złota do wyrobów jubilerskich są: zielone złoto (stop Ag-Au), czerwone złoto (stop Au-Cu), białe złoto (stop Au-Cu-Ni-Zn lub Ag-Au-Pd) oraz żółte złoto (stop Ag-Au-Cu). Osobną grupę stanowią specjalne kolory złota takie jak: purpurowy, niebieski, brązowy oraz czarny (*K. Wongpreedee et al., Proceedings Gold 2009 - The 5th international conference on gold science, technology and its applications, Heidelberg, Germany 2009, 366* oraz *K. Masubuchi et al., Proceedings Gold 2009 - The 5th international conference on gold science, technology and its applications, Heidelberg, Germany 2009, 256*). Istnieją dwa sposoby otrzymywania tego typu kolorów złota: jeden poprzez powierzchniową zmianę koloru złota oraz drugi poprzez spreparowanie konkretnego stopu na osnowie złota. Purpurowy oraz niebieski kolor złota jest otrzymywany poprzez stop złota z indem, galem i glinem którego podstawą jest występowanie faz międzymetalicznych z ustaloną stechiometrią AuX_2 ($X = Al, Ga, In$). Złoto purpurowe to $AuAl_2$ i jest to złoto, które wykazuje dobre właściwości optyczne (*S. Supansombon, A. Maarooof, M.B. Cortie, Gold Bull. 41, 2008, 296*). Natomiast złoto ciemnoniebieskie to $AuIn_2$ oraz jasnoniebieskie- $AuGa_2$.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie zastosowaniem galu oraz jego związków. Gal jest metalem o niespotykanych wśród innych metali właściwościach. Między innymi występuje w stanie ciekłym w szerokim zakresie temperatur ponieważ jego temperatura topnienia jest bliska temperaturze pokojowej i wynosi 29 °C, podczas gdy temperatura wrzenia to 2400 °C. W związku z tym wprowadzenie galu w wieloskładnikowe stopy powinno spowodować obniżenie ich temperatury topnienia. Taki efekt może być wykorzystany w procesie łączenia amalgamatowego. Jest to proces bardzo interesujący, ale jeszcze mało znany i opisany do tej pory przez MacKey'a (*C.A. MacKay IEEE Micro, 13, 1993, 46*) oraz Schmid-Fetzera (*R. Schmid-Fetzer, Fundamentals of bonding by isothermal solidification for high temperature semiconductor applications, in: R.Y. Lin, Y.A. Chang, R.G. Reddy, C.T. Liu (Eds.), Design fundamentals of high temperature composites, intermetallics and metal-ceramic system, Proceedings of the 125th TMS Annual Meeting; Anaheim, CA, USA 4-8 Feb 1996, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, PA (USA) 1996 75-98.*). W tej metodzie połączenie jest wykonywane w niskiej temperaturze, bliskiej temperatury pokojowej. W tym procesie metal niskotopliwy jest rozpuszczalnikiem. Wydaje się, że gal jest najbardziej odpowiednim kandydatem dla takiej technologii. Gal znalazł również zastosowanie jako składnik w stopach Ga-Mn-Ni. Są to stopy z pamięcią kształtu, w których występuje efekt magneto-mechaniczny. Efekt ten pozwala na opracowanie materiałów, których właściwości mogą być sterowane polem magnetycznym (*A.A. Likhachev, K. Ullakko, Phys. Lett. A 275, 2000, 142* oraz *V.V. Khovailo, V. Novosad, T. Takagi, D.A. Filippov, R.Z. Levitin, A.N. Vasilev, Phys. Rev. B 70, 2004, 174413-1-7*). Odkryciem ostatnich lat są materiały CIGS (stop Cu-In-Ga-Se), które znalazły zastosowanie jako materiały na ogniwa słoneczne. W latach 2010-2012 w ramach środków z Unii Europejskiej był realizowany projekt *HiPOCIGS (New concepts for high efficiency and lowcost in-line manufactured flexible CIGS solar cells)*, w którym prowadzono badania nad warstwami stopów CIGS. Wśród związków galu na uwagę zasługują Ga₂O₃, GaAs, GaP, oraz GaN, które znalazły zastosowanie w optoelektronice (β-Ga₂O₃) oraz elektronice. Również związek tlenku galu z tlenkiem lantanu (perowskit-LaGaO₃) jest rozważany jako potencjalny stały elektrolit w wysokotemperaturowych ogniwach paliwowych (*W. Kuncewicz-Kucprzyk, D. Kobertz, M. Miller, C. Chatillon, L. Singheiser, K. Hilpert, J. Am. Ceram. Soc.; 85, 2002, 2299*). Te informacje na temat galu oraz jego związków wskazują, że rośnie zainteresowanie jego aplikacją. Można zatem zastanawiać się gdzie i w jaki sposób należy podjąć próbę wprowadzenia do użycia stopów galu np. trójskładnikowych. Gal jest to metal towarzyszący rudom aluminium oraz cynku i jego produkcja światowa sięga ok. 1000 ton rocznie. Biorąc pod uwagę niewielką skalę światowej produkcji, jest oczywiste że aby osiągnąć zysk produkt taki musi mieć wysoką wartość. Istnieją dwa obszary w których taki cel można osiągnąć. Jednym z nich są nowe plomby dentystyczne w których stosuje się gal (*F.M. Blair, J.M. Whitworth, J.F. McCabe, Dental Materials, 11, 1995, 277* oraz *H. Hero, C.J. Simensen, R.B. Jorgensen, Biomaterial, 17, 1996, 1321*). Jednak bez współpracy ze „światem medycznym” trudno jest opracowywać składy takich nowych stopów. Drugim obszarem badań wydaje się

być użycie metali szlachetnych w połączeniu z galem jako materiałów do produkcji wyrobów jubilerskich.

W literaturze światowej można znaleźć nieliczne dane dotyczące układów z galem. Jak dotąd w literaturze opisano równowagi fazowe oraz temperatury przemian w następujących układach: Ag-Ga-Bi (równowaga fazowa w 473 K oraz przebieg linii likwidus i temperatury przemian fazowych wyznaczone za pomocą analizy termicznej), Ag-Ga-Sn (równowaga fazowa w 373 K, przebieg linii likwidus i temperatury przemian fazowych wyznaczone za pomocą analizy termicznej oraz entalpia mieszania w 803 K), Ag-Ga-Tb (równowaga fazowa w 873 K), Au-Ga-In (równowaga fazowa w 553 K oraz identyfikacja fazy Au_2GaIn_2 w 667 K), Au-Ga-Sb (równowaga fazowa w 298 K oraz przebieg linii likwidus i temperatury przemian fazowych wyznaczone za pomocą analizy termicznej), Cu-Ga-Bi (równowaga fazowa w 473 K oraz przebieg linii likwidus i temperatury przemian fazowych wyznaczone za pomocą analizy termicznej) oraz Cu-Ga-In (równowaga fazowa w 623 K oraz temperatury przemian fazowych wyznaczone za pomocą analizy termicznej). Za wyjątkiem układu Ag-Ga-Sn brak jest informacji na temat właściwości termodynamicznych tych układów trójskładnikowych. **W związku z tym celem naukowym podjętych przeze mnie prac było wyznaczenie właściwości termodynamicznych oraz dostarczenie informacji na temat topologii równowagi faz w układach trójskładnikowych Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga.**

Zakres badawczy wyznaczonego celu naukowego był ściśle powiązany z realizacją projektu badawczego własnego [zał.: II.J.4] „*Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układzie Cu-Ag-Ga*” oraz projektu „Iuventus Plus” [zał.: II.J.6] „*Właściwości termodynamiczne i równowagi fazowe w układzie Ag-Au-Ga*” zrealizowanych na Wydziale Metali Nieżelaznych w Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie.

Właściwości termodynamiczne ciekłych roztworów metalicznych zawierających gal można wyznaczyć przy użyciu metody elektrochemicznej stosując ogniwo ze stałym elektrolitem oraz metody kalorymetrycznej. Informacji na temat przebiegu linii likwidus mogą być uzyskane dzięki zastosowaniu różnicowej analizy termicznej DTA. Natomiast informacje na temat topologii układu opisującej równowagi fazowe w wybranych stopach można otrzymać w wyniku przeprowadzenia badań równoważenia izotermicznego na podstawie których z analizy składu chemicznego faz (przy użyciu metody mikroskopii skaningowej) oraz składu fazowego (przy użyciu metody dyfraktometrii rentgenowskiej) można zidentyfikować fazy znajdujące się w stanie równowagi. Do przeprowadzenia wyżej wymienionych badań zastosowałam następujące metody:

a) Metoda elektrochemiczna: ogniwa ze stałym elektrolitem

Metoda elektrochemiczna jest uznawana za najdokładniejszą metodę służącą do określenia aktywności składnika w metalicznych układach wieloskładnikowych.

W elektrochemicznym ogniwie ilość nieobjętościowej pracy koniecznej do przeniesienia 1 mola wybranego pierwiastka o wartościowości z ze stanu czystego do roztworu odpowiada pracy przeniesienia ładunku $Q = (zF)$

$$\Delta G_r = -zFE \quad (1)$$

gdzie E to elektromotoryczna siła produkowana przez ogniwo oraz F to stała Faradaya równa 96 487 [C·mol⁻¹].

Aby ogniwo pracowało poprawnie muszą być spełnione następujące wymagania:

- zastosowanie odpowiedniego elektrolitu,
- właściwa identyfikacja procesów elektrodowych,
- brak reakcji ubocznych.

Z metodą elektrochemiczną zapoznałam się dobrze w trakcie wykonywania pracy doktorskiej oraz poprzez opracowanie rozdziału w książce dotyczącego zasad konstrukcji ogniw i podstaw działania tej metody [zał.: II.E.2]. Do wyznaczenia własności termodynamicznych ciekłych roztworów z galem zostało wykorzystane wysokotemperaturowe ogniwo elektrochemiczne ze stałym elektrolitem: tlenkiem cyrkonu modyfikowanym tlenkiem ittru. Pomiaru tego typu są szeroko stosowane na świecie. W związku z tym metodyka tych badań oraz konstrukcja ogniw jak i własności samego elektrolitu są dobrze opisane w literaturze (*E.C. Subbarao: Solid Electrolytes and Their Applications. Plenum Press, New York, 1980* oraz *K. Kiukkola, C. Wagner: J. Electrochem. Soc., 104, 1957, 308*).

Metoda elektrochemiczna ze stałym elektrolitem cyrkonowym została wykorzystana w mojej pracy badawczej do wyznaczenia aktywności galu w następujących układach: Ag-Ga, Au-Ga, Cu-Ga, Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga.

b) Metoda Kalorymetryczna

Metoda kalorymetryczna polega na wyznaczeniu efektów cieplnych towarzyszących rozpuszczeniu składnika w kąpeli metalicznej o wybranym składzie oraz masie. Wielkością wyznaczaną na podstawie tej metody pomiarowej jest efekt cieplny $\Delta H_{\text{sygnału}}$, który obejmuje podgrzanie, stopienie i rozpuszczenie próbki w kąpeli metalicznej:

$$\Delta H_{\text{sygnału}} = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \Delta H_{\text{przemiany}} + \Delta H_{\text{rozpuszczenia}} \quad (2)$$

gdzie $\Delta H_{\text{sygnału}}$ to całkowity efekt cieplny rejestrowany w trakcie pomiaru, C_p – pojemność cieplna dodawanego metalu, $\Delta H_{\text{przemiany}}$ – ciepło towarzyszące ewentualnym przemianom fazowym występującym w dodawanym metalu, $\Delta H_{\text{rozpuszczenia}}$ – ciepło rozpuszczania dodawanego metalu.

Metoda kalorymetryczna została wykorzystana w mojej pracy badawczej do wyznaczenia entalpii mieszania w następujących układach dwuskładnikowych: Ag-Ga, Cu-Ga, Au-Ga (celem poszerzenia opisu fazy ciekłej w tych układach metalicznych oraz aby wyznaczyć wartości entalpii mieszania potrzebnych do późniejszego wyznaczenia entalpii mieszania w układach trójskładnikowych typu Ag-Ga-X (gdzie X to odpowiednio Au lub Cu) oraz w układach trójskładnikowych Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga (celem dostarczenia jednych z pierwszych informacji na temat fazy ciekłej w tych układach metalicznych). Wiedzę oraz doświadczenie w wykonywaniu badań przy użyciu metody kalorymetrycznej zdobywałam w wiodących w tej metodzie badawczej laboratoriach w Europie. W 2005 współpracowałam z prof. Gabriellą Borzone podczas miesięcznego stażu na Uniwersiteti degli Studi di Genoa we Włoszech, w 2006 roku podczas dwumiesięcznego stypendium współpracowałam z prof. Jean-Cloudem Gachonem na Université Henri Poincaré we Francji oraz w 2008 roku

współpracowałam z prof. Ipserem i prof. Flandorferem podczas miesięcznego stażu na Universität Wien w Austrii. W związku z zakupem kalorymetru MHTC96 do naszego laboratorium odbyłam tygodniowe szkolenie przeprowadzone przez firmę Setaram [zał.: III.Q.a.1].

c) Różnicowa analiza termiczna DTA/DSC, metody SEM i XRD

W mojej pracy analiza termiczna znalazła zastosowanie do wyznaczenia temperatury przemian zachodzących w badanych układach. Różnicowa analiza termiczna DTA została zastosowana do opisu układu Au-Ga oraz do wyznaczenia przebiegu linii likwidus w układzie Ag-Cu-Ga. Wiedzę oraz doświadczenie w wykonywaniu badań przy użyciu metody DTA zdobyłam w 2010 roku podczas współpracy z prof. Ipserem w trakcie miesięcznego stażu na Universität Wien w Austrii, w 2011 roku odbyłam indywidualny trening z wykorzystania technik analizy termicznej przeprowadzonego w firmie NETZSCH, jak również podczas szkoleń z zakresu stosowania technik badawczych wykorzystywanych w analizie termicznej, które odbywałam w latach 2010-2017 [zał.: III.Q.a.3, III.Q.a.6, III.Q.a.9].

Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) jest jedną z podstawowych metod badania ciała stałego w mikroskali oraz nanoskali. Możliwość osiągnięcia wysokiej rozdzielczości sięgającej do 1 μm a także krótki czas reakcji urządzenia, daje ogromne możliwości analizy szerokiej gamy materiałów. W mojej pracy metoda SEM-EDS została zastosowana do określenia składu chemicznego faz w badanych układach trójskładnikowych Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga. Następnie przy użyciu *metody dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD)* został określony skład fazowy w wyżej wymienionych układach trójskładnikowych. Na podstawie uzyskanych wyników sporządziłam następujące równowagi fazowe: w układzie Ag-Cu-Ga w temperaturze 723 K oraz w układzie Ag-Au-Ga w temperaturze 523 i 723 K. Wiedzę oraz doświadczenie w wykonywaniu badań przy użyciu metody SEM i XRD zdobyłam w 2011 roku w trakcie uczestnictwa w tygodniowym szkoleniu z technik analiz materiałów na University of Surrey [zał.: III.Q.a.5] oraz w trakcie samodzielnej pracy na skaningowym mikroskopie elektronowym (Hitachi SU-70) i spektrometrze XRF (Rigaku, Mini Flex II).

d) Metoda CALPHAD

Nazwa CALPHAD była pierwotnie skrótem od CALculation of PHase Diagrams, który później został rozszerzony o Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry. W metodzie CALPHAD zbiera się i ocenia wszystkie dostępne informacje eksperymentalne i teoretyczne dotyczące równowagi fazowej i właściwości termodynamicznych w rozpatrywanym układzie. Właściwości termodynamiczne każdej fazy są następnie opisywane za pomocą energii swobodnej Gibbsa, stosując model matematyczny zawierający regulowane parametry. Parametry te są oceniane poprzez optymalizację dopasowania modelu do wszystkich ocenianych informacji, również z udziałem współistniejących faz. Po tym można ponownie obliczyć właściwości termodynamiczne wszystkich faz całego systemu i w konsekwencji diagram fazowy. Filozofia metody CALPHAD polega na uzyskaniu spójnego opisu diagramu fazowego i właściwości termodynamicznych. W metodzie CALPHAD do

obliczenie układów wyższych rzędów stosuje się informacje o układach niższych rzędów. Jest to bardzo pomocna metoda w analizie zagadnień związanych z modelowaniem przemian fazowych.

W mojej pracy metoda CALPHAD została wykorzystana do obliczenia następujących układów: Ag-Ga, Au-Ga, Cu-Ga, Cu-Ag-Ga oraz Ag-Au-Ga. Obliczanie układów fazowych metodą CALPHAD rozpoczęłam pod opieką naukową dr inż. Wojciecha Gierlotki. W latach 2003-2010 współpracowaliśmy w ramach jednego zespołu badawczego pod kierownictwem prof. dr hab inż. Krzysztofa Fitznera. Doktor Gierlotka zaznajomił mnie z metodą CALPHAD, modelami wykorzystywanymi do opisu energii Gibbsa faz w układach wieloskładnikowych oraz specjalistycznym oprogramowaniem stosowanym do tego typu obliczeń: programem Pandat i ThermoCalc. W ramach naszej współpracy obliczyliśmy następujące układy fazowe: Pb-Te, Cu-Sb, Ag-Ga, Cu-Ga [zał.: II.A.5, II.A.6 oraz prace A2 i A4]. Równocześnie sama rozwijałam moje umiejętności w wykonywaniu obliczeń układów oraz uczestnicząc w latach 2015-2017 w szkoleniach z programu ThermoCalc organizowanych przez producenta oprogramowania [zał.: III.Q.a.7, III.Q.a.8].

Cel badań, w połączeniu z przyjęciem do opisu układów równowagi metody CALPHAD, narzucił mi sposób postępowania. W pierwszej kolejności zajęłam się badaniem układów dwuskładnikowych, a następnie mogłam przystąpić do badań i opisu układów trójskładnikowych. W związku z powyższymi zasadniczymi etapami prac były analiza danych i prace doświadczalne prowadzone nad następującymi stopami galu:

1. układ Ag-Ga
2. układ Cu-Ga
3. układ Au-Ga
4. układ Ag-Cu-Ga
5. układ Au-Ag-Ga

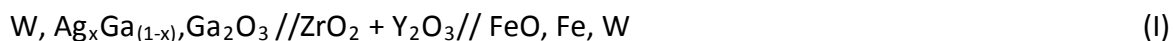
Dane dotyczące dwóch układów dwuskładnikowych Ag-Cu i Ag-Au które są niezbędne do interpretacji układów trójskładnikowych, zaczerpnięto z literatury. Układy Ag-Cu i Ag-Au są dobrze znane i opisane w literaturze. Ich opisy zostały przyjęte na podstawie bazy danych COST 531 (*A.T. Dinsdale, A. Watson, A. Kroupa, A. Zemanova, J. Vrestal, J. Vizdal, COST 531 Thermodynamic Database, Version 3.0, 2008*).

Ad. 1 Układ Ag-Ga

Przegląd literaturowy wykazał, że w przypadku układu Ag-Ga zostały wykonane badania w fazie stałej oraz w fazie ciekłej na podstawie których wyznaczono właściwości termodynamiczne w tym układzie dwuskładnikowym. O ile informacje na temat fazy stałej nie budzą wątpliwości to nieco inaczej przedstawia się sprawa w przypadku wyników dla fazy ciekłej. Analiza tych danych wykazała, że pomiędzy otrzymanymi wynikami dla fazy ciekłej są pewne sprzeczności. Entalpia mieszania wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych w ciekłym układzie Ag-Ga wykazywała zależność temperaturową, jednak wyniki z trzech dostępnych prac nie są zgodne (*R. Beja, M. Laffitte, C.R. Acad. Sci., C. Fr. 267, 1968, 123; B. Predel, D.W. Stein, Acta Metall. 20, 1972, 515; K. Itagaki, A. Yazawa, J. Japan Inst. Metals 32, 1968, 1294*). Aktywność galu oraz srebra w fazie ciekłej została wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych zaprezentowanych w czterech pracach, w których do przeprowadzenia pomiarów użyto następujących metod: spektrometrii masowej, metody elektrochemicznej ze stałym oraz ciekłym elektrolitem. Niestety praca w której użyto metody elektrochemicznej ze stałym elektrolitem, która jest metodą dedykowaną do wyznaczenia aktywności w ciekłym układzie Ag-Ga nie jest dla mnie dostępna (*K. Kameda, Doctor Thesis, Tohoku University, 1986*). Dane aktywności galu wyznaczone na podstawie uzyskanych wyników metodą spektrometrii masowej zaprezentowane w pracy Qi (*G. Qi, M. Hino, T. Azakami, Mater. Trans., JIM 30, 8, 1989, 575*) zostały porównane z rezultatami uzyskanymi przez Kamedę, ale wzmianka o tym znajduje się tylko w tekście pracy z informacją, że dane te różnią się od siebie. Dodatkowo trudno przyjąć że rezultaty uzyskane przez Danilina i Yatsenko (*V.N. Danilin, S.P. Yatsenko, Izv. AN SSSR, Metall. 3, 1958, 224*) są wiarygodne podczas gdy do pomiarów użyli oni soli stopionych, a w trakcie takich pomiarów nie ma pewności co do stopnia utlenienia galu (I czy III). Taka informacja jest kluczową przy obliczaniu aktywności galu na podstawie tak przeprowadzonych pomiarów. W tej pracy zostały również umieszczone dane dla entalpii mieszania wyznaczonej na podstawie tej metody, które w tej sytuacji nie są wiarygodne. Również Predel i Schallner (*B. Predel, U. Schallner, Z. Metallkd. 63, 1972, 341*) w swojej pracy eksperymentalnej nad układem Ag-Ga użyli metody elektrochemicznej z ciekłym elektrolitem (sole stopione). Na podstawie uzyskanych przez nich wyników można wyznaczyć aktywność galu w ciekłym Ag-Ga. Podobnie jak w przypadku powyższej pracy Danilina i Yatsenko pojawiają się podobne wątpliwości co do wiarygodności tak otrzymanych danych. Wszystkie wyżej wymienione dane zostały wykorzystane w obliczeniu układu Ag-Ga przez Li i współpracowników (*Y. Zhang, J.K. Liang, J.B. Li, Q.L. Liu, Y.G. Xiao, Q. Zhang, G.H. Gao, J. Alloys Compd. 429, 2007, 184*), w którym do opisu fazy ciekłej został użyty model z asocjatem. Do opisu fazy ζ' został użyty model energetyczny złożony z dwóch podsieci Ag oraz Ga, zakładający że podsieć Ga może być osadzana przez atomy Ga lub Ag (autorzy przyjęli taki model na podstawie wykonanych przez siebie badań, których wyniki różniły się od dostępnych danych literaturowych (*E. Gunnes, O.B. Karlsen, A. Olsen, O.T. Zagerski, J. Alloys Compd. 297, 200, 144*)).

W związku z niejasnościami dotyczącymi informacji na temat fazy ciekłej w układzie Ag-Ga postanowiłam przeprowadzić badania metodą kalorymetryczną oraz elektrochemiczną celem dostarczenia nowych informacji na temat tego układu dwuskładnikowego. Nowe dane pomogą w wyjaśnieniu niespójności pomiędzy danymi dotyczącymi aktywności galu oraz entalpii mieszania w ciekłym Ag-Ga.

Metoda elektrochemiczna polegająca na zastosowaniu ogniwa ze stałym elektrolitem YSZ została przeze mnie użyta do wyznaczenia aktywności galu w ciekłych roztworach Ag-Ga. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu ogniwa o następującym schemacie:



w zakresie temperatur od 1098 do 1273 K oraz w zakresie ułamka molowego galu X_{Ga} od 0.1 do 0.9. W wyniku przeprowadzonych przeze mnie pomiarów dla każdego z badanych stopów oraz dla czystego galu wyznaczyłam liniową zależność siły elektromotorycznej w funkcji temperatury. Następnie na podstawie tych liniowych zależności wyznaczyłam aktywność galu w ciekłej fazie Ag-Ga. Uzyskane przeze mnie wyniki aktywności galu i srebra wskazały na ujemne odchylenie od prawa Raoult'a.

Metoda kalorymetryczna została przeze mnie zastosowana do wyznaczenia entalpii mieszania w fazie ciekłej Ag-Ga. Badania przeprowadziłam przy użyciu wysokotemperaturowego kalorymetru MHTC 96 firmy Setaram w dwóch wybranych temperaturach 923 i 1123 K i w zakresie zmian ułamka molowego galu X_{Ga} od 0.948 do 0.429. W każdej z temperatur zostały przeprowadzone dwie serie pomiarowe, a uzyskane wyniki były powtarzalne. Dane eksperymentalne uzyskane w dwóch wybranych temperaturach wskazały ujemne wartości entalpii mieszania w całym zakresie ułamka molowego galu X_{Ga} , w którym zostały przeprowadzone badania. Uzyskane przeze mnie wyniki potwierdziły zależność temperaturową entalpii mieszania w układzie Ag-Ga.

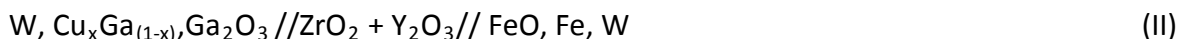
Następnie, uzyskane przeze mnie nowe informacje na temat właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów Ag-Ga zostały wykorzystane do ponownego obliczenia tego układu dwuskładnikowego metodą CALPHAD. W obliczeniach układu Ag-Ga przeprowadzonych przy współpracy z dr Gierlotką, do opisu fazy ciekłej wykorzystany został model substytucyjny (który jest właściwym modelem do opisu fazy ciekłej dla takiego przebiegu entalpii mieszania jaki występuje w układzie Ag-Ga). Faza między metaliczna Ag_3Ga_2 została opisana jako liniowy związek stechiometryczny. Do opisu fazy ζ' został użyty model energetyczny złożony z dwóch podsieci Ag i Ga, przy czym podsieć Ga może być obsadzana przez atomy Ga, Ag lub wakansy o zapisie $(\text{Ag})_2:(\text{Ga}, \text{Ag}, \text{Va})_1$. Wybrany model do opisu tej fazy został przyjęty na podstawie danych z pracy Gunnesa i współpracowników (*E. Gunnes, O.B. Karlsen, A. Olsen, O.T. Zagerski, J. Alloys Compd. 297, 200, 144*). Na podstawie przeprowadzonego obliczenia układu Ag-Ga została uzyskana bardzo dobra zgodność tak opisanego układu fazowego oraz funkcji termodynamicznych z danymi eksperymentalnymi, lepsza niż w przypadku poprzedniego obliczenia tego układu dwuskładnikowego wykonanego przez wyżej wymienionych autorów. Obliczenie układu fazowego zostało przeprowadzone przy użyciu specjalistycznego programu ThermoCalc v. r.

Uzyskane wyniki badań oraz obliczenie układu Ag-Ga zostały opublikowane w pracach [A1, A2] w czasopismach z listy JCR oraz były prezentowane na konferencji międzynarodowej [zał.: II.L.7, III.B.7].

Ad. 2 Układ Cu-Ga

Przegląd literatury wykazał, że istnieją dwie prace (*J.C. Gachon, M. Notin, C. Cunat, J. Hertz, J.C. Parlebas, G. Moraitis, B. Stupefl, F. Gautier, Acta Metall. 28, 1980, 489* oraz *B. Predel, U. Schallner, Mater. Sci. Eng. 10, 1972, 249*) zawierające sprzeczne informacje na temat aktywności galu w stałej fazie α występującej w tym układzie dwuskładnikowym. Dodatkowo entalpia mieszania w ciekłym Cu-Ga została wyznaczona tylko w jednej temperaturze 1423 K przez Predela i Steina (*B. Predel, D.W. Stein, Acta Metall. 20, 1962, 1183*). W związku z tym nie jest znana zależność od temperatury tej funkcji termodynamicznej. Dane z wymienionych prac zostały użyte przez Li i współpracowników do opisu układu Cu-Ga (*J.B. Li, L.N. Ji, J.K. Liang, Y. Zhang, J. Luo, R.C. Li, G.H. Rao, Calphad, 32, 2008, 447*). Jednak wykorzystanie termodynamicznego opisu tego układu dwuskładnikowego przedstawionego w ich pracy do obliczenia układów trójskładnikowych typu Cu-Ga-Me przy użyciu metody CALPHAD nie daje zadowalających rezultatów.

W związku z niejasnościami dotyczącymi informacji na temat fazy stałej w układzie Cu-Ga postanowiłam przeprowadzić badania przy użyciu metody elektrochemicznej na podstawie których została wyznaczona aktywność galu w fazie α , w fazie γ_0 oraz w cieczy (celem potwierdzenia spójności z dostępnymi informacjami na temat fazy ciekłej, a tym samym uwiarygodniające otrzymane przeze mnie wyniki). Badania zostały przeprowadzone w zakresie temperatur od 948 do 1173 K przy użyciu ogniwa o następującym schemacie:



dla trzech wybranych składów stopów reprezentujących następujące fazy w układzie Cu-Ga: Cu_{0.25}Ga_{0.75}-faza ciekła, Cu_{0.68}Ga_{0.32}-faza γ_0 oraz Cu_{0.9}Ga_{0.1}-faza α . Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczyłam liniową zależność siły elektromotorycznej w funkcji temperatury dla zbadanych stopów. Następnie korzystając z tych równań obliczyłam aktywność galu w wybranych fazach w układzie Cu-Ga. Na podstawie porównania moich danych aktywności galu w fazie α z danymi literaturowymi zostały odrzucone wyniki Predela i Schallnera natomiast uzyskane przeze mnie wyniki stworzyły razem z danymi Gachona i współpracowników spójny opis fazy α .

Stosując z kolei metodę kalorymetryczną postanowiłam przeprowadzić badania, które miały wyjaśnić czy istnieje zależność entalpii mieszania od temperatury w ciekłym stopie Cu-Ga. Badania przeprowadziłam przy użyciu wysokotemperaturowego kalorymetru MHTC 96 firmy Setaram w trzech wybranych temperaturach 1128, 1273 i 1423 K w zakresie ułamka molowego galu X_{Ga} od 0.188 do 0.921. W każdej z temperatur zostały przeprowadzone dwie serie pomiarowe, a uzyskane wyniki były powtarzalne. Dane eksperymentalne uzyskane w trzech wybranych temperaturach wskazały ujemne wartości entalpii mieszania w całym zakresie zmian ułamka molowego galu X_{Ga} , w którym zostały przeprowadzone badania. Wartość minimalna entalpii mieszania w każdym z przeprowadzonych pomiarów występuje

dla ułamka molowego galu X_{Ga} od 0.25 do 0.35. Wyniki uzyskane przeze mnie w temperaturze 1423 K są zgodne z danymi Predela i Steina, którzy wyznaczyli entalpię mieszania ciekłych roztworów Cu-Ga w tej samej temperaturze. Na podstawie uzyskanych przeze mnie rezultatów oraz danych literaturowych można stwierdzić, że entalpia mieszania w ciekłym Cu-Ga zależy od temperatury.

Następnie, uzyskane przeze mnie dane aktywności galu oraz entalpii mieszania dla stopów Cu-Ga zostały wykorzystane do ponownego obliczenia tego układu dwuskładnikowego za pomocą metody CALPHAD, wykonanego wspólnie z dr Gierlotką. W obliczeniu tego układu fazowego do opisu fazy gamma został zastosowany model energetyczny trzech podsieci $(\text{Cu})_6:(\text{Cu,Ga})_6:(\text{Ga})$. Faza międzymetaliczna CuGa_2 została opisana jako liniowy związek stechiometryczny. Pozostałe fazy w tym faza ciekła zostały opisane modelem substytucyjnym. Użyty opis faz jest identyczny z tym, który w swojej pracy zastosował Li i współpracownicy. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń została uzyskana bardzo dobra zgodność tak opisanego układu fazowego Cu-Ga jak i funkcji termodynamicznych z danymi eksperymentalnymi. Zmienił się natomiast opis termodynamiczny tego układu dwuskładnikowego w wyniku czego obliczone funkcje termodynamiczne znacznie lepiej zgadzają się z danymi literaturowymi w porównaniu do tego opisu, który w swojej pracy zaprezentował Li i współpracownicy. Należy podkreślić, że właściwy opis układu dwuskładnikowego jest niezbędny jeżeli chce się go wykorzystać do obliczenia układów wyższych rzędów za pomocą metody CALPHAD. Obliczenie układu fazowego zostało przeprowadzone przy użyciu programu ThermoCalc v. 3.1.

Uzyskane wyniki badań oraz obliczenie układu Cu-Ga zostały opublikowane w pracach [A3, A4] w czasopiśmie z listy JCR oraz były prezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: II.L.10, II.L.11, III.B.10, III.B.11].

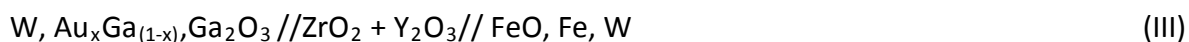
Ad.3 Układ Au-Ga

Analiza informacji na temat układu Au-Ga nasunęła pewne wątpliwości co do wiarygodności informacji na temat fazy ciekłej w tym układzie dwuskładnikowym. Okazało się, że o ile entalpia mieszania ciekłych roztworów Au-Ga została przebadana w szerokim zakresie temperatur (bo od 774 do 1661 K) to jednak analiza wyników nie dawała jednoznacznej odpowiedzi odnośnie temperaturowej zależności entalpii mieszania w tym układzie dwuskładnikowym. Dodatkowo opublikowane dane były sprzeczne (dane *K. Itagaki i A. Yazawa, Trans. JIM 16, 1975, 979* oraz *B. Predel i D. W. Stein, Acta Metall. 20, 1972, 515* wykazują mniejsze ujemne odstępstwo od prawa Raoult'a od pozostałych danych literaturowych). Również dane dla aktywności galu w ciekłych roztworach Au-Ga nasuwały pewne wątpliwości. W literaturze istniały dwie prace w których została wyznaczona aktywność galu. Bergman i współpracownicy (*C. Bergman, J.P. Bros, M. Carbonel, M. Gambino, and M. Laffitte, Rev. Int. Hautes Temp. Refract., 8, 1971, 205*) wyznaczyli a_{Ga} w 1400 K stosując metodę spektrometrii masowej. Natomiast Kameda i Azakami (*K. Kameda and T. Azakami, J. Jpn. Inst. Met., 40, 1976, 1087*) wyznaczyli a_{Ga} w dwóch temperaturach 973 oraz 1073 K stosując metodę elektrochemiczną używając ciekłego elektrolitu. Ta metoda

eksperymentalna w przypadku stopów z galum nie jest najlepszym wyborem, ponieważ w trakcie pomiaru na skutek możliwości zajścia reakcji pomiędzy badanym stopem a ciekłym elektrolitem, nie ma pewności co do stopnia utlenienia galu (I czy III) a ta informacja jest kluczową przy obliczaniu aktywności. Porównanie danych z tych dwóch prac wskazało że znacznie się one od siebie różnią, a dodatkowo aktywność galu wyznaczona przez Kamedę i Azakamiego nie wykazuje zależności temperaturowej co jest niewłaściwą tendencją w przypadku tej funkcji termodynamicznej. W literaturze istnieją dwie odmienne interpretacje właściwości termodynamicznych składników w układzie Au-Ga, które zostały wykorzystane do obliczenia tego układu dwuskładnikowego. Liu i współpracownicy (*J. Liu, C. Guo, C. Li, Z. Du, J Alloys Compd. 58, 2011, 62*) dokonując termodynamicznego opisu układu założyli brak zależności temperaturowej dla entalpii mieszania w ciekłych stopach Au-Ga. Dodatkowo nie przeprowadzili weryfikacji danych literaturowych i nie uwzględniając ich wzajemnego wykluczania użyli ich wszystkich do obliczenia układu Au-Ga. Następnie Wang i współpracownicy (*J. Wang, Y.J. Liu, L.B. Liu, H.Y. Zhou, Z.P. Jin, Calphad, 35, 2011, 242*) wykonując obliczenie układu Au-Ga przyjęli zależność temperaturową dla entalpii mieszania w fazie ciekłej jednocześnie odrzucając dane Itagakiiego i Yazawy oraz Predla i Steina. W przypadku obu tych prac do opisu fazy ciekłej w układzie Au-Ga został użyty model substytucyjny.

W związku z tak różną interpretacją zależności entalpii mieszania od temperatury w fazie ciekłej Au-Ga oraz nielicznymi danymi dotyczącymi aktywności galu w tym układzie postanowiłam przeprowadzić badania ciekłych roztworów tego układu dwuskładnikowego przy użyciu metody elektrochemicznej oraz metody kalorymetrycznej.

Metoda elektrochemiczna ze stałym elektrolitem YSZ została przeze mnie zastosowana do wyznaczenia aktywności galu w ciekłych roztworach Au-Ga. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu ogniwa o następującym schemacie:



w zakresie temperatur od 1050 do 1273 K oraz w zakresie ułamka molowego galu X_{Ga} od 0.2 do 0.8. W wyniku przeprowadzonych przeze mnie pomiarów dla każdego z badanych stopów wyznaczyłam liniową zależność siły elektromotorycznej w funkcji temperatury. Następnie na podstawie tych liniowych zależności wyznaczyłam aktywność galu w ciekłej fazie Au-Ga. Uzyskane przeze mnie wyniki aktywności galu wskazały na ujemne odchylenie od prawa Raoult'a i razem z danymi Bergmana i współpracowników stworzyły spójny opis tej funkcji termodynamicznej.

Metoda kalorymetryczna została przeze mnie zastosowana do wyznaczenia entalpii mieszania w fazie ciekłej Au-Ga. Badania przeprowadziłam przy użyciu wysokotemperaturowego kalorymetru MHTC 96 firmy Setaram w dwóch wybranych temperaturach 1223 i 1323 K w zakresie ułamka molowego złota X_{Au} od 0.03 do 0.64. Dane eksperymentalne uzyskane w dwóch wybranych temperaturach wskazały ujemne wartości entalpii mieszania w całym zakresie ułamka molowego galu X_{Ga} w którym zostały przeprowadzone badania z wartością minimalną w zakresie X_{Ga} od 0.4 do 0.5. Uzyskane przeze mnie wyniki potwierdziły brak zależności temperaturowej entalpii mieszania w

układzie Au-Ga i razem z danymi literaturowymi (bez uwzględnienia danych Itagakiego i Yazawy oraz Predela i Steina, które zostały uznane za niewłaściwe) stworzyły spójny opis tej funkcji termodynamicznej.

Dodatkowo wykonałam badania różnicowej analizy termicznej DTA trzech wybranych stopów Au-Ga o następujących składach: Au_{0.85}Ga_{0.15}, Au_{0.75}Ga_{0.25} i Au_{0.6}Ga_{0.4}. Badania zostały przeprowadzone w zakresie temperatur od 473 do 1300 K przy użyciu aparatu DTA 404 firmy NETZSCH. Dwa cykle grzania oraz chłodzenia z szybkością 5 oraz 2 K/min zostały przeprowadzone dla każdej z badanych próbek celem weryfikacji temperatur przemian oraz temperatury linii likwidus w wybranych stopach. Otrzymane wyniki stworzyły spójny opis z dostępnymi danymi literaturowymi.

Następnie, uzyskane przeze mnie dane aktywności galu oraz entalpii mieszania w fazie ciekłej Au-Ga i dane z analizy różnicowej zostały wykorzystane do ponownego obliczenia układu Au-Ga za pomocą metody CALPHAD. Termodynamiczny opis układu Au-Ga wykonałam samodzielnie. Do opisu fazy ciekłej podobnie jak w poprzednich pracach (Liu i współpracownicy oraz Wang i współpracownicy) użyłam modelu regularnego. Występujące w tym układzie fazy: fcc_A1, D024 oraz Orthorombic_Ga zostały opisane również modelem regularnym natomiast pozostałe 5 faz: AuGa, Au₂Ga, β-Au₇Ga₂, β'-Au₇Ga₂ oraz γ-Au₇Ga₃ zostały opisane jako fazy o ustalonej stechiometrii (taki sam opis zastosował w swojej pracy Wang i współpracownicy). Na podstawie tak przeprowadzonego obliczenia układu Au-Ga została uzyskana bardzo dobra zgodność układu fazowego oraz funkcji termodynamicznych z danymi eksperymentalnymi. Obliczenie układu fazowego zostało przeprowadzone przy użyciu programu ThermoCalc v. 3.1.

Uzyskane wyniki badań oraz obliczenie układu Au-Ga zostały opublikowane w pracach [A7, A8] w czasopiśmie z listy JCR oraz były prezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: III.Q.b.1, III.Q.b.3].

Ad.4 Układ Ag-Cu-Ga

Opis trzech układów dwuskładnikowych Ag-Ga, Cu-Ga oraz Ag-Cu (baza COST 531) umożliwił mi zajęcie się układem trójskładnikowym. Przegląd literatury na temat układu Ag-Cu-Ga wykazał że istnieją nieliczne dane na temat tego układu. W opracowaniu Petzowa i Effenberga z 1989 roku (*G. Petzow, G. Effenberg, A Ternary Alloys, Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams, Verlag Chemie, Weinheim, 1988*) brak jest jakichkolwiek informacji na temat układu Ag-Cu-Ga. Podobnie w opracowaniu Villarsa i współpracowników (*P. Villars, A. Priece, H. Okamoto, Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park, Ohio, 1995*), również brak jest jakichkolwiek danych na temat równowagi faz w tym układzie trójskładnikowym. W literaturze istnieje tylko jedna praca wykonana przez Markiva i współpracowników (*V.J. Markiv, V.M. Mayorenko, N.N. Beliavina, Metally 6, 1989, 198*), którzy wykonali badania równowag fazowych dla cięcia izotermicznego w 723 K. Mając przekrój układu tylko w jednej wybranej temperaturze trudno sądzić o ewolucji topologii układu równowagi wraz ze zmianą temperatury.

W związku z tym postanowiłam wykonać badania, które dostarczą informacji na temat fazy ciekłej oraz faz stałych w rozpatrywanym układzie Ag-Cu-Ga koniecznych do wyznaczenia właściwości termodynamicznych i równowag fazowych. Badania zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu następujących technik badawczych: dla wyznaczenia właściwości termodynamicznych w ciekłej fazie wykorzystałam metodę elektrochemiczną oraz metodę kalorymetryczną. Natomiast wyniki uzyskane z analizy termicznej, oraz analiz przeprowadzonych metodą mikroskopii skaningowej oraz dyfraktometrii rentgenowskiej zostały wykorzystane do wyznaczenia równowag fazowych w układzie Ag-Cu-Ga.

Swoją pracę nad układem Ag-Cu-Ga rozpoczęłam od badań wykonanych metodą kalorymetryczną celem wyznaczenia entalpii mieszania w ciekłych roztworach tego układu trójskładnikowego. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu wysokotemperaturowego kalorymetru MHTC 96 firmy wzdłuż dwóch wybranych cięć gdzie $X_{Ag}/X_{Ga}=1:1$ oraz $X_{Cu}/X_{Ga}=1:1$ w dwóch temperaturach 1128 oraz 1273 K. W każdej z temperatur zostały przeprowadzone dwie serie pomiarowe, a uzyskane wyniki były powtarzalne. Dane eksperymentalne uzyskane dla cięcia gdzie $X_{Ag}/X_{Ga}=1:1$ w dwóch wybranych temperaturach wskazały ujemne wartości entalpii mieszania w całym zakresie X_{Cu} z wartością minimalną dla składu $X_{Cu}=0.5$. Natomiast wartości entalpii mieszania uzyskane dla drugiego cięcia wzdłuż którego były przeprowadzone badania kalorymetryczne czyli dla $X_{Cu}/X_{Ga}=1:1$ nie wykazały wartości minimalnej. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że entalpia mieszania w ciekłych roztworach Ag-Cu-Ga nie zależy od temperatury. Uzyskane przeze mnie wyniki były pierwszymi wynikami opisującymi entalpię mieszania w tym układzie trójskładnikowym i zostały opublikowane w 2014 roku w pracy [A3].

Następnie przeprowadziłam badania metodą elektrochemiczną stosując ogniwo ze stałym elektrolitem YSZ w celu wyznaczenia aktywności galu w ciekłych roztworach Ag-Cu-Ga.

Pierwszym pytaniem na które należało odpowiedzieć dotyczyło doboru składu jaki powinna mieć elektroda pracująca. Założyłam, że powinien to być stop Ag-Cu-Ga o wybranym składzie oraz tlenek galu (III) Ga_2O_3 . Analiza literatury wykazała że istnieje możliwość wystąpienia dodatkowych reakcji ubocznych w trakcie przeprowadzania eksperymentu (w warunkach panującego ciśnienia p_{O_2} oraz w temperaturach powyżej 973 K), w wyniku których może powstać związek $CuGaO_2$ lub $CuGa_2O_4$. W tej sytuacji błędem byłoby stosowanie tlenku Ga_2O_3 jako składnika elektrody badanej do przeprowadzenia pomiarów oraz późniejsze wyznaczanie aktywności galu w ciekłych roztworach Ag-Cu-Ga. W związku z tym wykonano dodatkowe badania przy użyciu metody elektrochemicznej na podstawie których wyznaczono standardową energię swobodną Gibbsa reakcji tworzenia się tych związków.

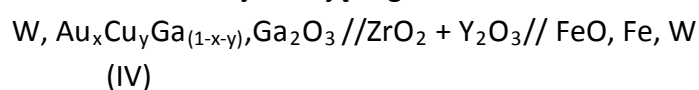
Badania przeprowadziłam w zakresie temperatur od 1048 do 1223 K. Obejmowały one preparatykę związków $CuGa_2O_4$ oraz $CuGaO_2$. Dla następujących reakcji tworzenia tych dwóch związków: $CuO+Ga_2O_3=CuGa_2O_4$ oraz $1/2Cu_2O+1/2Ga_2O_3=CuGaO_2$ wyznaczyłam zmianę energii swobodnej Gibbsa reakcji tworzenia tych związków, którą opisałam następującymi zależnościami temperaturowymi:

$$\Delta G_{CuGa_2O_4}^0 = 21642 - 26.1 * T(J * mol^{-1}) \quad (3)$$

$$\Delta G_{CuGaO_2}^0 = -12879 + 6.28 * T(J * mol^{-1}) \quad (4)$$

Uzyskane wyniki zostały wykorzystane do obliczenia równowagowego potencjału tlenu i w konsekwencji do wyznaczenia zakresu stabilności związków występujących w układzie Cu-Ga-O w temperaturach 773 oraz 1273 K. Otrzymane rezultaty wykluczyły możliwość powstawania $CuGa_2O_4$ oraz $CuGaO_2$ w warunkach jakie występowały w trakcie przeprowadzania eksperymentów z zastosowaniem metody elektrochemicznej dla wybranych składów układu Ag-Cu-Ga. Uzyskane przeze mnie wyniki zostały opublikowane w 2015 roku w pracy [A5] w czasopiśmie z listy JCR.

Następnie, wykonałam badania ciekłych roztworów Ag-Cu-Ga przy użyciu metody elektrochemicznej stosując ogniwo o schemacie:



wzdłuż dwóch wybranych cięć, gdzie $X_{Ag}/X_{Cu}=3:1$ oraz $1:1$. Badania zostały przeprowadzone w zakresie temperatur od 1023 do 1323 K dla X_{Ga} od 0.8 do 0.3. Zakres badań został wybrany na podstawie danych o układzie Ag-Cu-Ga uzyskanych na podstawie informacji o układach podwójnych wchodzących w skład tego układu trójskładnikowego. Kolejnym ograniczeniem zastosowanej metody był dobór kontaktów elektrycznych mogących mieć styczność z elektrodą badaną jaką był stop Ag-Cu-Ga (o wybranym składzie) wraz z tlenkiem galu (III). Najbardziej odpowiednim kontaktem elektrycznym był drut wolframowy jednak analiza danych literaturowych wykazała, że możliwa jest reakcja miedzi z tlenkami wolframu, a takie pojawiają się chociaż w niewielkich ilościach w trakcie tego pomiaru. W związku z tym niemożliwym stało się (przy użyciu tego kontaktu elektrycznego) prowadzenie badań metodą elektrochemiczną tego układu trójskładnikowego od strony miedzi.

W wyniku przeprowadzonych przeze mnie pomiarów dla każdego z badanych stopów wyznaczyłam liniową zależność siły elektromotorycznej w funkcji temperatury. Następnie na podstawie tych liniowych zależności wyznaczyłam aktywność galu w ciekłej fazie Ag-Cu-Ga. Aktywność galu wykazuje ujemne odchylenie od prawa Raoult'a w badanym zakresie składów stopów Ag-Cu-Ga. Uzyskane przeze mnie wyniki zostały opublikowane w 2015 roku w pracy [A6] w czasopiśmie z listy JCR.

Oprócz wyznaczenia entalpii mieszania i aktywności galu w ciekłych roztworach Ag-Cu-Ga przeprowadziłam badania przy użyciu metody różnicowej analizy termicznej DTA na podstawie których wyznaczyłam przebieg linii likwidus. Badania zostały przeprowadzone wzdłuż dwóch wybranych cięć gdzie $X_{Ag}/X_{Cu}=1:1$ (dla X_{Ga} od 0.1 do 0.8) oraz $X_{Ag}/X_{Ga}=1:1$ (dla X_{Cu} od 0.1 do 0.8). Eksperymenty zostały przeprowadzone z szybkością 10 K/min w dwóch cyklach grzania oraz chłodzenia przy wykorzystaniu wysokotemperaturowego multikalorymetru (model Pegasus 404, Netzsch). W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczyłam przebieg linii likwidus wzdłuż dwóch wybranych cięć w układzie Ag-Cu-Ga. Otrzymane przeze mnie wyniki są pierwszymi reprezentującymi przebieg linii likwidus w badanym układzie trójskładnikowym. Wyniki te zostały zaprezentowane w pracy [A6] w czasopiśmie z listy JCR.

Rezultaty uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań metodą elektrochemiczną (ujemne odchylenie od prawa Raoult'a dla aktywności galu) oraz kalorymetryczną (ujemne wartości entalpii mieszania, w tym wyraźne minimum na jednym z cięć wzdłuż których były prowadzone badania) mogą wskazywać na tendencję do utworzenia się fazy trójskładnikowej w badanym układzie Ag-Cu-Ga. W związku z tym dodatkowo przeprowadziłam badania równowag fazowych dla cięcia izotermicznego układu Ag-Cu-Ga w wybranej temperaturze 723 K. Próbki po równoważeniu izotermicznym przebadalam przy zastosowaniu skaningowej mikroskopii elektronowej (został wyznaczony skład chemiczny faz), a następnie przy zastosowaniu metody dyfrakcji rentgenowskiej (został wyznaczony skład fazowy). Na podstawie uzyskanych wyników sporządziłam diagram równowagi fazowej w T=723 K. Uzyskane wyniki nie potwierdziły powstania fazy potrójnej w tej temperaturze. Porównanie uzyskanych przeze mnie wyników z danymi Markiva i współpracowników w temperaturze 723 K wykazało pewne różnice. Moje dane nie potwierdziły rozpuszczalności Ag, Cu ani Ga w fazie gamma_ordered, podczas gdy rozpuszczalność Ag w tej fazie została zidentyfikowana przez Markiva i współpracowników. Uzyskane przeze mnie wyniki zostały zaprezentowane w pracy [A6] w czasopiśmie z listy JCR.

Na podstawie wszystkich wyników eksperymentalnych uzyskanych przeze mnie w trakcie przeprowadzonych badań fazy ciekłej oraz faz stałych, został obliczony układ trójskładnikowy Ag-Cu-Ga przy zastosowaniu metody CALPHAD. W obliczeniu układu Ag-Cu-Ga zostały wykorzystane opisy układów Ag-Ga oraz Cu-Ga, które zostały obliczone przeze mnie przy współpracy z dr Gierlotką [A2, A4]. W układzie Ag-Cu-Ga do opisu fazy ciekłej oraz faz stałych: FCC_A1(Ag) oraz FCC_A1(Cu), HCP_A3 oraz BCC_A2 został użyty model substytucyjny. Faza HCP została opisana modelem energetycznym dwóch podsieci o schemacie (Ag)₂:(Ga,Ag,Va)₁ natomiast faza gamma modelem energetycznym trzech podsieci (Cu)₆:(Cu,Ga)₆:(Ga), Fazy międzymetaliczne Ag₃Ga₂ oraz CuGa₂ zostały opisane jako związki stechiometryczne. Na podstawie tak przeprowadzonego obliczenia układu Ag-Cu-Ga została uzyskana bardzo dobra zgodność z danymi eksperymentalnymi. Obliczenie układu fazowego zostało przeprowadzone przy użyciu programu ThermoCalc v. 4.1. wyniki zostały opublikowane w pracy [A6] w czasopiśmie z listy JCR. Wszystkie wyżej wymienione dane uzyskane przeze mnie dla układu Ag-Cu-Ga oraz obliczenie tego układu za pomocą metody CALPHAD były prezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: II.L.9, II.L.10, III.B.9, III. B.10].

Ad. 5 Układ Ag-Au-Ga

Podobnie jak w przypadku układu Ag-Cu-Ga również dla układu Ag-Au-Ga w opracowaniu Petzowa i Effenberga (*G. Petzow, G. Effenberg, A Ternary Alloys, Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams, Verlag Chemie, Weinheim, 1988*) oraz Villarsa i współpracowników (*P. Villars, A. Pricence, H. Okamoto, Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park, Ohio, 1995*) brak jest jakichkolwiek informacji na temat równowag fazowych. W literaturze jest tylko jedna praca dotycząca badań zwilżalności cienkich warstw Ag-Au-Ga, której autorem

jest Andronov i współpracownicy (*V.M. Andronov, I.P. Grebennik, S.V. Dukarov, Funct. Mater. 4 (1997) 387*).

W związku z brakiem danych na temat układu Ag-Au-Ga postanowiłam wykonać badania, które dostarczą informacji na temat fazy ciekłej oraz faz stałych, a następnie użyć uzyskane wyniki do wyznaczenia właściwości termodynamicznych i równowag fazowych. Badania zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu następujących technik badawczych: dla wyznaczenia właściwości termodynamicznych w fazie ciekłej wykorzystałam metodę elektrochemiczną oraz metodę kalorymetryczną. Natomiast wyniki uzyskane z analizy termicznej oraz analiz wykonanych metodą mikroskopii skaningowej i dyfraktometrii rentgenowskiej zostały wykorzystane do wyznaczenia równowag fazowych w układzie Ag-Au-Ga.

Swoje badania nad układem Ag-Au-Ga rozpoczęłam od wyznaczenia entalpii mieszania ciekłych roztworów tego układu trójskładnikowego przy zastosowaniu metody kalorymetrycznej. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu wysokotemperaturowego kalorymetru MHTC 96 firmy Setaram, wzdłuż dwóch wybranych cięć gdzie $X_{Ag}/X_{Ga}=1:1$ oraz $X_{Au}/X_{Ga}=1:1$ i w dwóch temperaturach 1223 oraz 1323 K. W każdej z temperatur zostały przeprowadzone dwie serie pomiarowe, a uzyskane wyniki były powtarzalne. Dane eksperymentalne uzyskane dla cięcia gdzie $X_{Ag}/X_{Ga}=1:1$ w dwóch wybranych temperaturach wskazały ujemne wartości entalpii mieszania w całym zakresie ułamka molowego złota X_{Au} z wartością minimalną dla składu $X_{Au}=0.5$. Natomiast wyniki dla entalpii mieszania uzyskane wzdłuż drugiego cięcia gdzie $X_{Au}/X_{Ga}=1:1$ nie wykazały wartości minimalnej. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że entalpia mieszania w ciekłych roztworach Ag-Au-Ga nie zależy od temperatury. Uzyskane przeze mnie wyniki były pierwszymi danymi dla ciekłej fazy układu Ag-Au-Ga i zostały opublikowane w 2017 roku w pracy [A7].

Następnie, przeprowadziłam badania układu Ag-Au-Ga przy użyciu metody elektrochemicznej stosując ogniwo ze stałym elektrolitem cyrkonowym. Badania zostały przeprowadzone przy zastosowaniu ogniwa o następującym schemacie:

$W, Ag_xAu_yGa_{(1-x-y)}, Ga_2O_3 // ZrO_2 + Y_2O_3 // FeO, Fe, W$

(V)

Układ Ag-Au-Ga został przebadany wzdłuż trzech cięć gdzie $X_{Ag}/X_{Au}=2:1, 1:1$ oraz $1:2$ dla X_{Ga} od 0.1 do 0.8 w zakresie temperatur od 1023 do 1348 K. Następnie, na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczyłam dla badanych stopów trójskładnikowych liniowe zależności siły elektromotorycznej od temperatury. Korzystając z tych zależności wyznaczyłam a_{Ga} , która w tym układzie wykazuje ujemne odchylenie od prawa Raoult'a. Następnie na podstawie danych entalpii mieszania oraz aktywności galu w ciekłej fazie Ag-Au-Ga dokonałam opisu fazy ciekłej stosując metodę CALPHAD. Faza ciekła w układzie Ag-Au-Ga została opisana modelem substytucyjnym. Opis fazy ciekłej wykonałam przy użyciu programu ThermoCalc v. 2015b. W wyniku przeprowadzonego obliczenia otrzymałam dobrą zgodność danych eksperymentalnych z przeprowadzonymi obliczeniami. Otrzymane wyniki zostały opublikowane w 2018 roku w pracy [A10] w czasopiśmie z listy JCR.

Rezultaty uzyskane metodą elektrochemiczną (ujemne odchylenie od prawa Raoult'a dla aktywności galu) oraz kalorymetryczną (ujemne wartości entalpii mieszania, w tym wyraźne minimum na jednym z cięć wzdłuż których były prowadzone badania) mogą wskazywać na tendencję do utworzenia się fazy trójskładnikowej w badanym układzie Ag-Au-Ga.

W związku z powyższym, kolejnym etapem badań dotyczących układu Ag-Au-Ga były badania równowag fazowych dla wybranych cięć izotermicznych w temperaturach 523 oraz 723 K. W sumie przebadalam 22 próbki o wybranych składach. Próbki po równoważeniu izotermicznym zostały przeze mnie poddane analizie przy zastosowaniu skaningowej mikroskopii elektronowej (został wyznaczony skład chemiczny faz), a następnie przy zastosowaniu metody dyfrakcji rentgenowskiej (został wyznaczony skład fazowy). Na podstawie wyników otrzymanych po przeprowadzeniu wyżej wymienionych analiz określiłam równowagi fazowe w dwóch wybranych temperaturach. Uzyskane wyniki nie potwierdziły powstania fazy trójskładnikowej w wybranych warunkach eksperymentu tj. w temperaturze 523 oraz 723 K. Do zaprezentowania równowag fazowych w badanym układzie trójskładnikowym wykorzystywałam specjalistycznego programu Pandat 8.1. Uzyskane przeze mnie wyniki zostały opublikowane w pracy [A9] w czasopiśmie z listy JCR.

Wyniki badań układu Ag-Au-Ga były prezentowane na konferencji międzynarodowej [zał.: III.Q.b.1].

Przedstawione osiągnięcie naukowe obejmuje wyniki badań uzyskane przy użyciu kilku następujących metod badawczych: metody elektrochemicznej, metody kalorymetrycznej, analizy termicznej DTA/DSC oraz badań równowag fazowych na podstawie wyników z analiz wykonanych metodą mikroskopii skaningowej i metodą dyfrakcji rentgenowskiej. Dla układów Ag-Ga, Cu-Ga, Au-Ga, Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga oprócz badań przeprowadzonych wyżej opisanymi metodami badawczymi zostały przeprowadzone obliczenia równowag fazowych metodą CALPHAD.

Podsumowując mogę stwierdzić że:

- wyznaczyłam aktywność galu w stopach metalicznych zawierających gal stosując metodę elektrochemiczną dla trzech układów dwuskładnikowych: Ag-Ga, Au-Ga i Cu-Ga oraz dwóch układów trójskładnikowych Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga. Wyniki uzyskane dla układów podwójnych posłużyły do weryfikacji i uzupełnienia informacji na ich temat. Dane aktywności galu uzyskane na podstawie przeprowadzonych doświadczeń w ciekłych roztworach Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga charakteryzują się ujemnymi odchyleniami od prawa Raoult'a (odstępstwo od zachowania roztworów idealnych) i są pierwszymi i jedynymi dostępnymi w literaturze światowej,
- wyznaczyłam entalpię mieszania dla fazy ciekłej stopów metalicznych zawierających gal przy zastosowaniu metody kalorymetrycznej w dwóch układach dwuskładnikowych: Ag-Ga i Au-Ga oraz dwóch układach trójskładnikowych: Ag-Cu-Ga i Ag-Au-Ga. Wyniki uzyskane dla układów

podwójnych posłużyły do weryfikacji i uzupełnienia informacji na ich temat. Wyznaczone doświadczalnie zmiany entalpii mieszania ciekłych roztworów Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga charakteryzują się ujemnymi odstępstwami od zachowania roztworów idealnych i są pierwszymi i jedynymi dostępnymi w literaturze światowej,

- wyznaczyłam przebiegu linii likwidus przy użyciu metody DTA w układzie Ag-Cu-Ga. Uzyskane wyniki są pierwszymi i jedynymi dostępnymi w literaturze światowej,
- na podstawie wyników uzyskanych z analizy mikroskopii skaningowej oraz metody dyfrakcji rentgenowskiej próbek uzyskanych po równoważeniu izotermicznym określiłam równowagi fazowe w wybranych temperaturach w układach Ag-Cu-Ga oraz Ag-Au-Ga. W przypadku układu Ag-Cu-Ga uzyskane wyniki uzupełniły i zweryfikowały wcześniejszy opis dostępny w literaturze. Natomiast wyniki uzyskane dla układu Ag-Au-Ga są pierwszymi i jedynymi dostępnymi w literaturze światowej,
- na podstawie uzyskanych wyników układ Ag-Cu-Ga został obliczony przy zastosowaniu metody CALPHAD. Jest to pierwszy opis tego trójskładnikowego układu dostępny w literaturze,
- samodzielnie obliczyłam układ Au-Ga za pomocą metody CALPHAD,
- samodzielnie zoptymalizowałam opis fazy ciekłej w układzie Ag-Au-Ga za pomocą metody CALPHAD,
- uzyskany opis układów fazowych metodą CALPHAD umożliwia prześledzenie ewolucji równowagi faz z temperaturą podczas krystalizacji stopów (np. wykorzystując metodę Scheila).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1. Informacje ogólne

Jestem absolwentką Wydziału Metali Nieżelaznych (kierunek: Metalurgia) Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Studia ukończyłam w 2003 roku, uzyskując stopień magistra inżyniera. Pracę magisterską pt.: „Określenie szybkości korozji tytanu metodą badań polaryzacyjnych” zrealizowałam pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Krzysztofa Fitznera.

W latach 2003-2008 uczęszczałam na studia doktoranckie na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH. W trakcie studiów doktoranckich odbyłam półroczny kurs pedagogiczny w Studium Pedagogicznym Akademii Górniczo-Hutniczej, podnosząc swoje kwalifikacje dydaktyczne. Od stycznia 2004 roku zostałam pracownikiem Wydziału Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W maju 2008 roku uzyskałam stopień naukowy doktora nauk technicznych, za pracę pt.: „Określenie właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów Ag-In-Sb i Ag-In-Sn metodą elektrochemiczną”. Promotorem rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Krzysztof Fitzner, a recenzentami tej pracy byli prof. dr hab.

Lidia Burzyńska (Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych) oraz prof. dr hab. inż. Jan Botor (Instytutu Metali Nieżelaznych w Gliwicach).

W swojej pracy doktorskiej zaprezentowałam wyniki wysokotemperaturowych badań właściwości termodynamicznych ciekłych stopów zawierających ind: Ag-In, Ag-In-Sb oraz Ag-In-Sn. Przeprowadzone badania były związane z realizacją projektu specjalnego [zał.: II.J.1] pt. " *Nowe materiały i technologie dla lutowania bezołowiowego. Europejski Program Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych (COST). Akcja 531- Bezołowiowe materiały lutownicze*" wykonanego w ramach międzynarodowej Akcji COST 531-*Lead-free Solder Materials*. Celem projektu było poszukiwanie nowych ekologicznych stopów lutowniczych, które mają być pozbawione ołowiu. Ponadto, w ramach uczestnictwa w projekcie COST 531, wykonałam badania ciekłych roztworów Cu-In-Sn w zakresie temperatur od 973 do 1223 K przy użyciu metody elektrochemicznej. Na podstawie uzyskanych wyników została wyznaczona aktywność indu w fazie ciekłej, która wykazała zmienne odchylenie od prawa Raoult'a. Udział w projekcie COST 531 stworzył mi możliwość odbycia mojego pierwszego stażu zagranicznego w 2005 roku (Universiti degli Studi di Genova, współpraca z Prof. G. Borzone we Włoszech, 1 miesiąc). W trakcie swojego pobytu na uniwersytecie w Genui rozpoczęłam naukę prowadzenia badań przy zastosowaniu metody kalorymetrycznej. W ramach mojego pobytu w Genui wykonałam badania kalorymetryczne, na podstawie których wyznaczyłam entalpię mieszania ciekłych roztworów Cu-In w dwóch wybranych temperaturach 998 i 1025 K. Uzyskane dane nie wykazały zależności temperaturowej entalpii mieszania w fazie ciekłej. Wszystkie uzyskane przeze mnie dane eksperymentalne zostały użyte do obliczenia układu fazowego Cu-In-Sn. Uzyskane wyniki badań były prezentowane na konferencji międzynarodowej [zał.: II.L.4, III.B.4] jak również zostały opublikowane w czasopiśmie z listy [zał.: II.A.4].

Badania układów Ag-In, Ag-In-Sb oraz Ag-In-Sn wykonane w ramach mojej pracy doktorskiej prezentowały różne stopnie trudności wymagające stosowania kilku technik badawczych. W przypadku układów Ag-In oraz Ag-In-Sb badania zostały przeprowadzone techniką elektrochemiczną z zastosowaniem ogniwa ze stałym elektrolitem cyrkonowym. W przypadku układu Ag-In-Sn, oprócz techniki elektrochemicznej należało eksperymentalnie określić warunki równowagi między fazą ciekłą a stałym roztworem tlenków. Ponadto praca nad układem Ag-In-Sn została wzbogacona o badania kalorymetryczne.

W trakcie studiów doktoranckich w roku 2006 zostałam stypendystką Rządu Francuskiego co umożliwiło mi odbycie 2 miesięcznego stażu na Université Henri Poincaré w Nancy we Francji. W trakcie tego wyjazdu kontynuowałam swoją naukę wykonywania badań metodą kalorymetryczną. W trakcie mojego pobytu we Francji współpracowałam z Prof. J.C. Gachonem, jednym z najlepszych specjalistów w dziedzinie kalorymetrii w Europie. W trakcie mojego dwumiesięcznego pobytu wykonałam badania kalorymetryczne, na podstawie których wyznaczyłam entalpię mieszania w ciekłych roztworach Ag-In-Sn w wybranej temperaturze 1003 K. Wyniki tych badań zostały przedstawione w mojej pracy doktorskiej. Na podstawie uzyskanych przeze mnie wyników zostały określone właściwości termodynamiczne ciekłych roztworów Ag-In, Ag-In-Sb (aktywność indu, cząstkowa entalpia

oraz cząstkowa entropia indu) oraz Ag-In-Sn (aktywność indu, cząstkowa entalpia oraz cząstkowa entropia indu oraz entalpia mieszania). Następnie, dane te zostały wykorzystane w obliczeniu układów fazowych Ag-In, Ag-In-Sb oraz Ag-In-Sn. Uzyskane przeze mnie wyniki badań były prezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: II.L.1, II.L.2, II.L.3, III.B.1, III.B.2, III.B.3] jak również zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR [zał.: II.A.1, II.A.2, II.A.3].

W ramach współpracy międzynarodowej nawiązanej w ramach Akcji COST 531 jestem współautorem publikacji, która powstała przy współpracy z zespołem badawczym z Uniwersytetu w Beogradzie pod kierownictwem Prof. D. Zivkovic. Praca dotyczy analizy równowagi fazowej w pobliżu punktu eutektycznego w układzie Ag-In-Sb. Brałam udział w opracowaniu termodynamicznego opisu stopów Ag-In-Sb [zał. II.E.1].

Wszystkie uzyskane przeze mnie wyniki uzyskane w związku z realizacją projektu pt. *"Nowe materiały i technologie dla lutowania bezołowiowego. Europejski Program Współpracy w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych (COST). Akcja 531- Bezołowiowe materiały lutownicze"* [zał.: II.J.1] dotyczące układów: Ag-In, Ag-In-Sb, Ag-In-Sn oraz Cu-In-Sn zostały wykorzystane w utworzonej termodynamicznej bazie danych COST 531 *A.T. Dinsdale, A. Watson, A. Kroupa, A. Zemanova, J. Vrestal, J. Vizdal, COST 531 Thermodynamic Database, Version 3.0, 2008*. Baza ta oprócz licznych publikacji jakie ukazały się na skutek realizacji tego projektu jest bezpośrednim rezultatem otrzymanym w wyniku współpracy wielu naukowców w Europie, którzy uczestniczyli w pracach badawczych w trakcie trwania tego projektu.

Dzięki współpracy z dr inż. Wojciechem Gierlotką w trakcie studiów doktoranckich rozpoczęłam naukę obliczania diagramów fazowych przy użyciu metody CALPHAD z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania ThermoCalc oraz Pandat. Dr inż. Wojciech Gierlotka przez cały okres moich studiów doktoranckich służył mi radą i pomocą w wykonywaniu tego typu obliczeń.

5.2. Działalność naukowo-badawcza i ekspercka

Od 2009 roku jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta na Wydziale Metali Nieżelaznych w Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. W tym czasie kontynuowałam badania z wykorzystaniem ogniwa ze stałym elektrolitem cyrkonowym, szkoliłam się w coraz lepszym stosowaniu metody kalorymetrycznej oraz rozszerzyłam swoje umiejętności o badania przy użyciu analizy termicznej DTA/DSC. Dodatkowo rozpoczęłam naukę przeprowadzania analizy materiałów przy użyciu mikroskopii skaningowej oraz metody dyfraktometrii rentgenowskiej.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych kontynuowałam podjętą wcześniej tematykę badań stopów bezołowiowych w związku z realizowanym w latach 2008-2012 projektem [zał.: II.J.2] pt. *"Właściwości termodynamiczne ciekłych faz i relacje fazowe w układach Cu-Sb-Sn, Ag-Sb-Sn i Au-Sn-Sb"* w ramach inicjatywy międzynarodowej COST MP0602 *Advanced Solder Materials for High Temperature Application (HISOLD)*. W ramach mojego uczestnictwa w realizacji wyżej wymienionego projektu wykonałam badania ciekłych

roztworów Cu-Sb-Sn oraz Au-Sb-Sn stosując metodę elektrochemiczną. Na podstawie uzyskanych danych została wyznaczona aktywność cyny w badanych stopach trójskładnikowych. W przypadku układu Cu-Sb-Sn badania zostały przeprowadzone wzdłuż trzech wybranych cięć gdzie $X_{Cu}/X_{Sb}=1:3$, 1:1 oraz 3:1 w zakresie temperatur od 998 do 1223 K, a wyznaczona aktywność cyny wykazała ujemne odchylenia od prawa Raoult'a. W przypadku układu Au-Sb-Sn badania zostały przeprowadzone wzdłuż dwóch wybranych cięć gdzie $X_{Au}/X_{Sb}=1:2$ oraz 2:1 w zakresie temperatur od 973 do 1273 K. Wyznaczona aktywność cyny wykazała ujemne odchylenie od prawa Raoult'a. Wyzaczyłam również entalpię mieszania ciekłych roztworów Au-Sn oraz Au-Sn-Sb wzdłuż trzech wybranych cięć gdy $X_{Au}/X_{Sb}=1:2$, 1:1 oraz 2:1 w temperaturach 923 oraz 1078 K. W wyniku przeprowadzonych przeze mnie badań okazało się, że w ciekłych roztworach Au-Sb-Sn entalpia mieszania ma ujemne wartości w całym zakresie zmiany X_{Sn} z wyraźną wartością minimalną dla X_{Sn} pomiędzy 0.45 a 0.6. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że entalpia mieszania w ciekłych stopach Au-Sb-Sn nie ma zależności temperaturowej.

Następnie, na podstawie uzyskanych danych został dokonany opis fazy ciekłej, w którym zastosowano model substytucyjny do opisu fazy ciekłej oraz metodę CALPHAD. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na konferencjach międzynarodowych [zał.: II.L.5, II.L.6, II.L.8, III.B.5, III.B.6, III.B.8] i opublikowane w czasopiśmie z listy JCR [zał.: II.A.6, II.A.8, II.A.9, II.A.11].

Udział w międzynarodowym projekcie COST MP0602 umożliwił mi odbycie dwóch kolejnych staży zagranicznych. W 2008 roku odbyłam miesięczny staż na Universität Wien w trakcie którego współpracowałam z prof. H. Ipsere oraz z prof. H. Flandorferem. W ramach stażu rozwijałam swoje umiejętności oraz poszerzałam wiedzę z zakresu przeprowadzania badań przy użyciu metody kalorymetrycznej. W trakcie mojego stażu wykonałam badania kalorymetryczne na podstawie których wyznaczyłam entalpię mieszania ciekłych roztworów Cu-Sb-Sn wzdłuż dwóch cięć $X_{Cu}/X_{Sb}=1:1$ oraz $X_{Sn}/X_{Sb}=3:1$ w wybranej temperaturze 1100 K. Rezultatem mojej współpracy z prof. Ipsere i prof. Flandorferem jest publikacja dotycząca entalpii mieszania w ciekłych roztworach Cu-Sb-Sn, która została opublikowana w czasopiśmie z listy JCR [zał.: II.A.7]. Wyniki z przeprowadzonych badań były również prezentowane na konferencji międzynarodowej [zał.: II.L.5, III.B.5].

Dodatkowo w 2008 roku uczestniczyłam w tygodniowym szkoleniu w Lionie we Francji organizowanym przez Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement de Lyon oraz firmę Setaram (światowy producent kalorymetrów) [zał.: III.Q.a.1]. W trakcie tego tygodniowego szkolenia były prezentowane, omawiane oraz ćwiczone różne techniki badawcze wykorzystywane w metodzie kalorymetrycznej.

W roku 2010 na Universität Wien odbyłam kolejny staż, w ramach którego współpracowałam z prof. H. Ipsere. W trakcie mojego miesięcznego pobytu poszerzyłam swoją wiedzę oraz umiejętności w prowadzeniu badań za pomocą analizy termicznej. W trakcie stażu wyznaczyłam przebieg linii likwidus w układzie Au-Sb-Sn przy użyciu różnicowej

analizy termicznej DTA wzdłuż dwóch wybranych cięć scharakteryzowanych stosunkiem $X_{Au}/X_{Sn}=1:1$ oraz $X_{Au}/X_{Sb}=1:1$.

Otrzymane przeze mnie wyniki dla układów trójskładnikowych Cu-Sb-Sn oraz Au-Sb-Sn zostały wykorzystane przy obliczaniu diagramów fazowych tych układów. Były one prezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: II.L.5, II.L.6, II.L.8, III.B.5, III.B.6, III.B.8] jak również zostały opublikowane w czasopiśmie z listy JCR [zał.: II.A.6, II.A.7, II.A.8, II.A.9, II.A.11].

W wyniku realizacji międzynarodowego projektu COST MP0602 [zał.: II.J.2] ukazała się książka, w której zostały zebrane wszystkie wyniki uzyskane w trakcie trwania tego projektu. Jestem współautorem jednego z rozdziałów, w którym zostały zaprezentowane uzyskane przeze mnie dane dla układów Cu-Sb-Sn oraz Au-Sb-Sn [zał. II.E.3].

Dodatkowo w 2010 roku odbyłam tygodniowe szkolenie z elipsometrii spektroskopowej [zał. III.Q.a.2]. W 2011 roku brałam udział w indywidualnym treningu z zastosowania metod analizy termicznej w firmie Netzsch [zał.: III.Q.a.4] Odbyłam również szkolenie z zakresu przeprowadzania analizy materiałów przy zastosowaniu mikroskopii skaningowej - tygodniowe szkolenie z techniki mikroskopii skaningowej na University of Surrey w Anglii w 2011 roku [zał.: III.Q.a.5]. Kontynuowałam naukę obliczania diagramów fazowych opartą na metodzie CALPHAD przy użyciu programów PanDat i ThermoCalc. Dodatkowo odbyłam dwa szkolenia z zakresu stosowania programu ThermoCalc [zał.: III.Q.a.7, III.Q.a.8].

W latach 2008-2011 brałam udział w realizacji projektu badawczego „Określenie parametrów technologii odzysku telluru z półproduktów oraz materiałów towarzyszących procesowi produkcji miedzi w HM Głogów” [zał.: II.J.3], który był realizowany w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Matali Nieżelaznych w AGH w Krakowie. Tematyka projektu była związana z odzyskiem telluru towarzyszącego procesowi produkcji miedzi w HM Głogów. W ramach mojego uczestnictwa w pracach nad realizacją tego projektu przeprowadziłam wraz z dr inż. Wojciechem Gierlotką obliczenie układu fazowego Pb-Te. Przedstawiony przez nas opis układu Pb-Te metodą CALPHAD zakładał zmianę modelu substytucyjnego stosowanego do tej pory przy obliczaniu tego układu dwuskładnikowego na model cieczy jonowej. Zaproponowany przez nas opis układu Pb-Te został opublikowany w czasopiśmie z listy JCR [zał.: II.A.5].

W 2011 roku została wydana przez wydawnictwo INTECH książka pt. „Electromotive Force and Measurement in Several Systems”, które jest jednym z największych wydawnictwie w systemie “wolnego dostępu tzw. open acces” w dziedzinie nauk technicznych oraz medycynie. W książce tej został opublikowany rozdział, którego jestem współautorem razem z prof. dr hab. inż. Krzysztofem Fitznerem pt. „Electromotive Force Measurements in High-Temperature Systems”. W rozdziale tym została opisana metoda elektrochemiczna z wykorzystaniem różnych typów ogniwi (z ciekłym oraz stałym elektrolitem) do pomiarów w wysokich temperaturach. Zostały opisane konkretne przykłady, w których ogniwa te zostały wykorzystane do przeprowadzenia pomiarów i do wyznaczenia funkcji termodynamicznych. Od samego początku rozdział ten cieszy się popularnością wśród

naukowców z całego świata o czym świadczą coroczne raporty informujące o zainteresowaniu tym rozdziałem [zał.: II.E.2].

W 2012 roku otrzymałam *I Indywidualną Nagrodę Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie* za cykl publikacji monotematycznych.

W latach 2010-2013 brałam udział w realizacji projektu badawczego, zamawianego pt. „Opracowanie teoretycznych podstaw nowej technologii odzysku miedzi z żużli zawiesinowych” [zał.: II.J.5], którego tematyka badawcza dotyczyła nowej technologii odzysku miedzi z żużli zawiesinowych. W ramach mojego uczestnictwa w tym projekcie brałam udział w opracowaniu termodynamicznego opisu stopów Cu-Pb-Fe. W związku z tym zostały ponownie obliczone układy dwuskładnikowe Cu-Fe oraz Cu-Pb, które to następnie zostały wykorzystane do obliczenia układu Cu-Pb-Fe przy wykorzystaniu metody CALPHAD. Obliczone linie równowagi faz oraz funkcje termodynamiczne w układzie Cu-Pb-Fe zostały porównane z dostępnymi danymi eksperymentalnymi. Zaproponowany opis układu Cu-Pb-Fe został opublikowany w czasopiśmie z listy JCR [zał.: II.A.10].

W latach 2012-2015 byłam jednym z wykonawców projektu PBS pt. „Diagnostyka wczesnego rozpoznawania zjawiska PCL w akumulatorach ołowiowych w celu zwiększenia niezawodności systemów zasilania rezerwowego”. W ramach mojego uczestnictwa brałam udział w realizacji zadania na AGH w Krakowie w latach 2013-2014pt. „Określenie parametrów fizykochemicznych i analiza właściwości granicy faz kolektor prądowy – masa aktywna - elektrolit,„. Wykonałam badania w których określiłam morfologię i skład chemiczny ujemnych i dodatnich płyt akumulatorów przy użyciu mikroskopii skaningowej SEM wraz z analizą składu chemicznego EDS. Zajmowałam się również określeniem morfologii i składu chemicznego ujemnych i dodatnich płyt akumulatorów ze stwierdzonym efektem PCL przy użyciu mikroskopii skaningowej SEM wraz z analizą składu chemicznego EDS [zał.: II.J.7].

W latach 2013-2016 byłam jednym z wykonawców projektu INNOTECH pt. "Opracowanie metod odzysku metali ze złomu elektronicznego". W ramach mojego uczestnictwa w tym projekcie wykonałam badania określenia składu fazowego metodą dyfraktometrii rentgenowskiej (XRD) osadów katodowych powstałych w wyniku elektrolizy Sn z roztworów po ługowaniu granulatu złomu elektronicznego. W ramach realizacji tego projektu współpracowałam z firmą P.P.H.U. PolBlume [zał.: II.J.8].

W latach 2013-2016 byłam kierownikiem projektu badawczego uzyskanego w ramach programu „Iuventus Plus” [zał.: II.J.9]. Tematyka projektu dotyczyła badań układu Bi-Sb-O i wyznaczenia właściwości termodynamicznych ciekłych roztworów $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$. W ramach prac przeprowadzonych w trakcie realizacji projektu wyznaczyłam współczynnik aktywności tlenu oraz współczynnik dyfuzji tlenu w ciekłych rozcieńczonych roztworach Bi-O, Sb-O oraz Bi-Sb-O (uzyskane wyniki zostały przedstawione w formie publikacji *D. Jendzejczyk-Handzlik, P. Handzlik and K. Fitzner, Activity and Diffusivity of Oxygen in the Liquid Dilute $\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x}$ Solutions, J. Min. Metall. Sect. B-Metall.B, wysłane do druku w marcu 2018*), oraz wyznaczyłam zmianę standardowej energii Gibbsa reakcji tworzenia stałego BiSbO_4 . Uzyskane wyniki uzupełniły istniejący stan wiedzy o ciekłych roztworach $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$.

Otrzymane rezultaty zostały zaprezentowane na konferencjach międzynarodowych [zał.: III.B.plakaty 1, III.Q.b.2].

W latach 2016-2017 byłam jednym z wykonawców projektu GEKON (Generator Koncepcji Ekologicznych) [zał.: II.J.10], którego tematyka dotyczyła odzysku metali szlachetnych w procesie recyklingu złomu elektronicznego. W ramach realizowanych przeze mnie badań zajmowałam się określeniem wpływu ciśnienia na proces usuwania cynku ze stałego mosiądzu będącego złomem elektronicznym. Do realizacji badań zostało zbudowane specjalnie stanowisko pomiarowe umożliwiające wykonywanie pomiarów pod ścisłą kontrolą poziomu próżni. W wyniku przeprowadzonych badań został wyznaczony stopień ekstrakcji cynku oraz współczynnik odparowania cynku w zależności od wartości ciśnienia tj. 10 lub 100 Pa. W ramach realizacji tego projektu współpracowałam z firmą TDM Electronics S.A.

Oprócz prac badawczych prowadziłam również prace eksperckie dla jednostek przemysłowych - jestem wykonawcą trzech prac badawczych dla firmy Fenix Metals Sp. Z o. o. i KGHM Polska Miedź S.A. [zał.: III.M.1, III.M.2, III.M.3, III.M.4].

Jestem członkiem międzynarodowych organizacji: od 2009 roku *The Minerals, Metals and Materials Society (TMS)* oraz od 2013 roku *Associated Phase Diagram and Thermodynamics Committee (APDTC)* [zał.: III.H.1, III.H.2].

Od 2010 roku, na zlecenie edytorów, byłam recenzentem 13 manuskryptów zgłoszonych do czasopism z listy Journal Citation Reports, których pełny wykaz znajduje się w [zał.: III.P.1-10].

W latach 2011 oraz 2012 dwukrotnie zostałam laureatem konkursu MNiSW "Iuventus plus" (I i II edycja). Zgodnie z regulaminem tego konkursu obok oceny merytorycznej czynnikiem decydującym o przyznaniu wniosku są publikacje kierownika projektu w czasopismach z listy JCR o wysokim Impact Factor [zał.: II.J.6, II.J.9].

Jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Sylwii Drzewowskiej pt. „Równowagi fazowe w materiałach termoelektrycznych Ag-Bi-Te” otwartym na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie [zał.: III.K.1].

Podsumowując, do chwili obecnej jestem współautorem 22 opublikowanych prac naukowych [zał.: I.B.1-10, II.A.1-11, II.E.1], 21 prace zostały opublikowane w czasopismach z listy JCR, z czego 19 ukazało się po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Brałam aktywny udział w realizacji 10 projektów naukowo-badawczych [zał.: II.J.1-10], a także w 3 pracach zleconych przez krajowe przedsiębiorstwa przemysłowe [zał.: III.M.1-3]. Jestem również współautorem rozdziału w książce "Electromotive Force and Measurement in Several Systems" wydanej przez wydawnictwo INTECH, które jest jednym z największych wydawnictwie w systemie "wolnego dostępu" tzw. "open acces" [zał.: II.E.2]. Dane dotyczące liczby cytowań, indeks Hirscha oraz sumaryczny Impact Factor publikacji zestawiono w poniższej tabeli:

Stan z dnia: 14.05.2018	Web of Science
Liczba cytowań	102
L. cyt. bez autocytowań	63
Indeks Hirscha	7
Impact Factor publikacji:	37.397
Punktacja MNiSW:	561

5.3. Działalność organizacyjna

Od 2003 roku rozwijam moje zainteresowania oraz umiejętności w badaniu wieloskładnikowych układów metalicznych. W latach 2004-2014 razem z prof. dr hab. inż. Krzysztofem Fitznerem zajmowałam się doposażeniem wysokotemperaturowego laboratorium w Katedrze Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych. W ramach mojej działalności uczestniczyłam w zakupie następującej aparatury: wysokotemperaturowego kalorymetru firmy Setaram, wysokotemperaturowych piecy operacyjnych, wysokotemperaturowych elementów do budowy piecy rurowych, precyzyjnych wag firmy Sartorius, przecinarki firmy Struers oraz specjalistycznego oprogramowania ThermoCalc, Pandat oraz HSC. Dzięki temu powstało bardzo dobrze wyposażone laboratorium umożliwiające przeprowadzanie badań przy wykorzystaniu metody kalorymetrycznej i elektrochemicznej. Równocześnie posiadanie specjalistycznego oprogramowania ThermoCalc oraz Pandat umożliwiło obliczenia układów fazowych metodą CALPHAD na poziomie światowym. Od 2012 roku jestem opiekunem „Laboratorium badań wysokotemperaturowych”. W ramach pracy zespołu pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Krzysztofa Fitznera w skład którego wchodzi oprócz mnie: dr inż. Wojciech Gierlotka (do 2010 roku) oraz od 2008 roku dr hab. inż. Bogusław Onderka, prof. nadzwyczajny AGH, nieustająco prowadzona jest praca badawcza oraz obliczeniowa dotycząca wieloskładnikowych układów metalicznych oraz tlenkowych.

W latach 2009-2011 byłam członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH. Od 2017 roku jestem z-cą przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH.

W ramach popularyzacji nauki brałam udział w przedsięwzięciu "Noc Naukowców" w 2016 roku w ramach którego wygłosiłam wykład pt "Straszne skutki przepływu ładunku".

5.4. Działalność dydaktyczna

W trakcie mojej pracy zawodowej na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH prowadziłam zajęcia dydaktyczne z kilkunastu przedmiotów dla studentów studiów stacjonarnych. Były to:

- Chemia metali-wykład
- Obróbka cieplno-chemiczna materiałów metalicznych-wykład
- Chemia fizyczna-ćwiczenia audytoryjne

- Teoria procesów metalurgicznych-ćwiczenia audytoryjne
- Chemia ogólna- laboratoria
- Chemia-laboratoria
- Chemia metali-laboratoria komputerowe (zajęcia realizowane przy wykorzystaniu programu MathCad z którego odbyłam szkolenie)
- Obliczenie równowag fazowych- laboratoria komputerowe (zajęcia realizowane z wykorzystaniem programu MathCad oraz Pandat)
- Komputerowe wspomaganie projektowania AutoCad -laboratoria komputerowe (posiadam trójstopniowy certyfikat ze szkolenia z programu AutoCad)
- Komputerowe wspomaganie w nauce i technice Matlab -laboratoria komputerowe (posiadam certyfikat ze szkolenia z programu MatLab)

Dydaktykę wykonywałam i nadal wykonuję w pełnym obciążeniu godzinowym (w niektórych latach ponad pensum). Byłam twórcą materiałów oraz opracowań dydaktycznych (stanowiska laboratoryjne, programy do przedmiotów w systemie Sylabus).

W ramach działalności dydaktycznej byłam opiekunem 5 prac dyplomowych magisterskich i 5 prac dyplomowych inżynierskich [zał.: III.J.a.1-5, III.J.b.1-5].

Dominika Jendrycyk-Handruk
Podpis wnioskodawcy