

Dr hab. Bogusław Onderka, prof. AGH
Wydział Metali Nieżelaznych
Akademii Górniczo-Hutniczej
Katedra Fizykochemii i Metalurgii Metali Nieżelaznych

Kraków, 21.09.2020 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Moniki Bugajskiej
pt.: "Właściwości termodynamiczne stopów Ag-Li-Sb".

(wykonana na zlecenie Dyrektora Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie zgodnie z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 oraz ustawy z dnia 20 lipca 2018 w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o stopień doktora)

Opinia składa się z trzech integralnych części, w których przedstawiono kolejno:

- opinię na temat podjętej tematyki,
- analizę i ocenę poszczególnych części pracy,
- ocenę końcową pracy.

1. Opinia na temat podjętej tematyki.

Tematyka podjęta przez doktorantkę związana jest z bardzo aktualnym dążeniem różnych ośrodków naukowych w świecie do opracowania technologii wytwarzania relatywnie taniego ogniwa odwracalnego o dużej pojemności. Obecnie ogniwa, w których nośnikiem ładunku są jony litu, należą do relatywnie tanich i bardzo obiecujących technologii gromadzenia energii elektrycznej. Istotne jest opracowanie technologii wytwarzania takich ogniw cechujących się w praktyce dużą energią właściwą, niskim samorozładowaniem, wysokim dopuszczalnym prądem rozładowania przy jego minimalnym wpływie na trwałość oraz dużą liczbą cykli pracy. Zastosowanie ogniw litowych do napędów elektrycznych opisano wielokrotnie w odniesieniu do zasilania samochodów hybrydowych. Opisano zalety i wady wykorzystania akumulatorów litowych do napędu samochodu elektrycznego i procesy degradacji parametrów akumulatora litowego w czasie jego użytkowania i składowania. Warto też nadmienić, że napędy elektryczne mają sporo istotnych zalet szczególnie w kontekście ekologicznym.

Środki transportu publicznego z powodzeniem wykorzystują energię elektryczną od ponad stu lat. Ogromnym powodzeniem, szczególnie w krajach azjatyckich, cieszą się ostatnio rowery elektryczne, które z racji możliwości wspomagania siłą ludzkich mięśni należy klasyfikować również jako pojazdy „hybrydowe”.

Najbardziej obiecujące nowe materiały anodowe dla akumulatorów jonowo-litowych to związki międzymetaliczne, w których przynajmniej jeden ze składników reaguje z litem. Stwierdzono, że główną zaletą takich ogniw z anodami międzymetalicznymi powinna być ich teoretycznie przewidywana duża pojemność.

Projektowanie nowych materiałów anodowych wymaga znajomości szeregu ich właściwości fizycznych i termodynamicznych. Szczególnie ważna jest wiedza na temat zakresów stabilności faz badanego układu. Szczegółowe informacje eksperymentalne o właściwościach termodynamicznych i równowagach fazowych dla stopów pozwalają także na skonstruowanie wykresu fazowego, jako swoistej „mapy drogowej” dla procesów wytwarzania stopów anodowych. Weryfikacja modeli termodynamicznych danymi eksperymentalnymi pozwala na tzw. samouzgodniony opis modelowy faz badanego układu pierwiastków. Stanowi zatem ważne narzędzie do opracowywania nowych materiałów funkcjonalnych, w tym także części akumulatorów litowo-jonowych.

W obecnej pracy Doktorantka skupiając się na stopach z układu Ag-Li-Sb analizuje ich właściwości termodynamiczne za pomocą szeregu metod badawczych. Należy tu podkreślić, że badania układu równowagi Ag-Li-Sb dobrze wpisują się w nowoczesne trendy planowania i badania właściwości nowoczesnych materiałów funkcjonalnych.

2. Analiza i ocena poszczególnych części pracy

Oceniana praca doktorska napisana jest w języku polskim, składa się z 6 głównych rozdziałów z podrozdziałami, wprowadzenia oraz streszczenia w języku polskim i angielskim, ponadto zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń i liczący 99 pozycji wykaz źródeł bibliograficznych. Praca liczy 90 stron i ma układ, który można uznać za typowy dla tego typu opracowań.

Wprowadzenie jest jednocześnie fragmentem części teoretycznej, w którym zawarto zwięzły opis baterii i akumulatorów do magazynowania energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem akumulatorów litowo-jonowych. Autorka zwróciła tu uwagę na fakt, że wiele parametrów użytkowych tych akumulatorów jest wprost związana z rodzajem materiału elektrod, a zwłaszcza z materiałem anod. Ponadto ważną cechą materiału konstrukcyjnego anod jest istnienie w nich stabilnej podsięci, pozwalającej na interkalację/deinterkalację jonów litu. Stabilność faz w układzie równowagi zawierającym określony związek międzymetaliczny doktorantka zaproponowała przestudiować za pomocą uniwersalnej metody Calphad. Obecnie, bowiem metody obliczeniowe stały się potężnymi narzędziami wykorzystywanymi do opracowywania nowych materiałów, a więc mogą być też zastosowane do planowania nowych materiałów anodowych. Autorka słusznie zauważyła, że opracowanie termodynamicznych modeli faz na podstawie dostępnych danych eksperymentalnych, co jest podstawą metodologii typu Calphad, pozwala na określenie relacji międzyfazowych w układach pierwiastków. Sukces zastosowania tego typu metodologii do opisu właściwości termodynamicznych układów wieloskładnikowych na podstawie danych układów niższych rzędów (np. dwuskładnikowych) pozwolił

także na zastosowanie metody Calphad do estymacji właściwości fizycznych stopów. Informacje te są niezbędne do zrozumienia procesu, jaki zachodzi w baterii podczas cykli ładowania i rozładowania. Treści zawarte w tej części opracowania należy uznać za zasadne i nieprzeładowane zbędnymi informacjami.

W kolejnych podrozdziałach tej części pracy Autorka syntetycznie przedstawiła literaturowe studium układu równowagi Ag-Li-Sb i układów dwuskładnikowych złożonych z tych trzech pierwiastków: Ag-Li, Ag-Sb i Li-Sb, a także omówiła istniejące krytyczne opracowania termodynamiczne układów dwuskładnikowych. Warto zaznaczyć, że do chwili obecnej w literaturze tematu nie istniało opracowanie krytyczne parametrów modelowych faz układu Ag-Li-Sb.

Mam jednak kilka uwag do tej części pracy. Po pierwsze zauważyłem brak precyzyjnego określenia jednostki pojemności względnej mAh/g.

Ponadto na wykresie Rys. 1 znajduje się faza Li_xAg , która nie została opisana w tekście. Czy to jest roztwór stały faz LiAg i Li_4Ag ? Ponadto uważam, że wykres ten bez jego szerszego opisu w tekście pracy jest trudny do interpretacji i można by go w zasadzie pominąć.

Rysunek nr 2 będący bitową kopią wykresu równowagi Ag-Li-Sb z publikacji Tarasiuka i in. (2008) jest mało czytelny. Podobnie jak i zamieszczony na rysunku czwartym układ równowagi Ag-Li skopiowany bezpośrednio z publikacji Freetha i Raynora, przez co zawiera w opisie błędny odnośnik literaturowy oraz oś temperatury w stopniach Celsjusza, pomimo, że w całej niniejszej pracy jako jednostkę temperatury stosowano Kelwin. Wydaje mi się, że w takich wypadkach należy, albo poprawić cały wykres w odpowiednim oprogramowaniu graficznym lub na jego podstawie skonstruować własny wykres fazowy. Należy podkreślić, że tak kopiowane wykresy fazowe są niejednokrotnie trudne analizy, bo zawierają mocno rozmyte szczególności topologiczne.

Należy rozważyć także, z jaką dokładnością prezentuje się w pracy dane termodynamiczne. Można pominąć dwa miejsca po przecinku (Str. 11, linia 3 od dołu), gdyż dokładność pomiaru temperatury w zakresie wysokotemperaturowym to ok. ± 1 K.

Dodatkowo na stronie 11 w równaniu reakcji perytektycznej w 975 K faza stała na bazie srebra powinno być oznaczona (Ag), gdyż w reakcji niezmienniczej bierze udział roztwór graniczny, niezależnie od tego, że w rzeczywistości jest on wirtualnie czystym srebrem. Na stronie 16 w stwierdzeniu, że „zależność stężeniowa entalpii mieszania jest symetryczna” brak jest wskazania do osi symetrii. Entalpia mieszania w modelu regularnym jest symetryczna względem prostej przechodzącej przez środek układu fazowego, dla 0.5 ułamka molowego atomów.

Należy tu podkreślić, że notacja $Ag_{90}Li_{10}$ może być zastosowana, ale wymaga jednak dookreślenia, że zastosowano opis stężenia w procentach atomowych. Nie jest to błąd, choć częściej spotykaną notacją jest jednak notacja na mol atomów: $Ag_{0.9}Li_{0.1}$ lub na mol związku.

Kolejna uwaga dotyczy rozróżnienia entalpii mieszania i entalpii tworzenia. W opisanych doświadczeniach na stronie 17 była mierzona entalpia mieszania stałych roztworów (Ag), a nie entalpia tworzenia, które to pojęcie jest zarezerwowane dla związków.

Zauważyłem też brak określenia typu ogniwa, którego siłę elektromotoryczną rejestrowali Wepner i Huggins.

Należy też zwrócić uwagę, że w tabeli 3 stanowiącej zestawienie standardowej entalpii tworzenia faz Li_2Sb oraz Li_3Sb z publikacji Beutela [2018Beutl] jednostka zastosowana do opisu kolumn 2 i 3 jest jednostką entropii, a nie entalpii!

W drugiej części pracy wyznaczono główne jej cele, jakim były wysokotemperaturowe badania właściwości termodynamicznych stopów z układu trójskładnikowego Ag-Li-Sb, w tym badania entalpii mieszania ciekłych stopów trójskładnikowych, standardowej entalpii tworzenia fazy międzymetalicznej Li_2AgSb oraz jej standardowej energii Gibbsa tworzenia. Warto podkreślić, że dane te są niezbędne do modelowego opisu, tak cech topologicznych układu fazowego Ag-Li-Sb, jak i właściwości termodynamicznych obecnych w nim faz.

Kolejny rozdział poświęcony jest technikom przygotowania materiału do badań i zastosowanej metodyce badawczej. Doktorantka opisała w nim zastosowane materiały i scharakteryzowała preparatykę stopów zastosowanych do pomiaru właściwości termodynamicznych. W tej części Autorka zawarła też charakterystykę metod eksperymentalnych: pomiaru siły elektromotorycznej ogniwa stężeniowego i miareczkowania kulometrycznego oraz metod kalorymetrycznych: pomiaru entalpii mieszania i standardowej entalpii tworzenia związków metodą rozpuszczania w ciekłej kąpieli metalicznej.

Zdziwienie budzi jednak zawarty w tej części opis modelowania właściwości termodynamicznych roztworów. Wydaje się, że tę część rozdziału należało umieścić w części teoretycznej, tym bardziej, że zawiera ona informacje o modelach roztworów idealnych, regularnych i nieidealnych.

Na rysunku nr 6 w trzeciej części pracy przedstawiono zdjęcia mikrostruktury dwóch stopów wyjściowych do badań entalpii mieszania. Z opisu ich przygotowania wynika, że są to stopy w stanie odlanym – *as cast*. Na zdjęciach mikrostruktury niestety nie oznaczono faz, a można by się pokusić o wskazanie faz pierwotnych lub początku ścieżki krystalizacji. Brakuje tu informacji, w jakim celu były wykonane zdjęcia mikrostruktury dla stopów w stanie dalekim od równowagi?

Na wykresie nr 7 prezentującym dyfraktogram dla fazy Li_2AgSb brak jest odnośnika literaturowego do bazy PDF-4 w podpisie tego rysunku.

Wydaje mi się, że gdy angielskie terminy w nazwach metod i wielkości pomiarowych, np. EMF (Electromotive Force), zostały wyjaśnione w spisie symboli lub w momencie pierwszego ich zastosowania na początku pracy, to nie ma potrzeby dublowania tej procedury w kolejnych rozdziałach.

Ponadto dobrą praktyką jest powstrzymanie się w opisie eksperymentu od stosowania określeń nienaukowych, których przykładem może być określenie „ustalić się w rozsądnym czasie” (str. 27). Jak bowiem zdefiniować rozsądny czas?

Opisując główne problemy techniki pomiarowej SEM nieprecyzyjnie określono konieczność odwracalnej pracy ogniwa, czyli bez efektów (reakcji) ubocznych oraz zachowanie się go po chwilowym przyłożeniu napięcia zewnętrznego.

Mam też prośbę o wyjaśnienie: Jaką dodatkową siłę SEM ma doktorantka na myśli w przypadku zastosowania różnych materiałów dla przewodów odprowadzających elektrod?

W tej części opisu metody pomiaru siły elektromotorycznej ogniwa stężeniowego warto też zaznaczyć, że przewodnictwo w elektrolicie musi być całkowicie jonowe.

Na stronie 30 nie powinno być przecinka w liczbie Faraday’a. Przecinki takie w literaturze anglosaskiej wydzielają w liczbie tysiące. Ponadto prawo Faraday’a pozwala określić nie tyle stężenie badanego składnika w stopie, co ewentualnie jego zmianę.

W konstrukcji ogniw stężeniowych jako geter zastosowano folię tytanową. Czy folia ta miała za zadanie usuwać ślady tlenu, czy azotu?

We wzorach (10) i (11) należy rozróżnić wielkości pól pod krzywymi zarejestrowanego sygnału, osobno dla kalibranta i osobno dla próbki. Aby uniknąć nieporozumień należało we wzorach tych zastosować oznaczenia, odpowiednio $S_{kalibrant}^{T_0 \rightarrow T_C}$ i $S_{próbka}^{T_0 \rightarrow T_C}$.

Mam też pytanie: Jakimi przesłankami kierowano się wybierając temperaturę 980 K dla pomiarów entalpii tworzenia?

Uważam, że w części teoretycznej należało opisać sposób wyprowadzenia wzoru (14) do obliczenia standardowej entalpii tworzenia związku Li_2AgSb na podstawie pomiarów kalorymetryczną metodą rozpuszczania. Ponadto należało także w tej części przybliżyć sposób wyznaczenia formuł (39, 40) niezbędnych do wyznaczenia standardowej energii swobodnej Gibbsa tworzenia fazy Li_2AgSb . Można też ewentualnie było podać odpowiednie odnośniki literaturowe, np., odpowiednio: G K. Rzyman, J.-C. Gachon, Arch. Metal. Mater., 55(4) 1021-1028 (2010) i Kim, S.V. Meschel, P. Nash, W. Chen, 10.6084/ m9.figshare.c.3822835 (2017).

Analizując część pracy opisującą modelowanie właściwości termodynamicznych roztworów, warto zauważyć, że równanie (27) stosuje się ogólnie dla substytucyjnych roztworów granicznych, a nie tylko FCC i BCC. Ponadto, wzór (28) można stosunkowo łatwo porównać z oryginalnym wzorem dla modelu semi- (sub-, kwazi-) regularnego Hardy'ego. Jednak nie odpowiadają one sobie wprost. Pomysł skupienia się w tej części pracy na opisie najprostszych modeli termodynamicznych uważam za nietrafiony, gdyż informacje te są powszechnie dostępne w każdym podręczniku chemii fizycznej lub termodynamiki materiałów. Należało natomiast poszerzyć zakres informacji na temat metod symetrycznych i asymetrycznych ekstrapolacji właściwości termodynamicznych na układy wyższych rzędów.

Rozdział 4 zatytułowany „Część doświadczalna” jest w zasadzie opisem otrzymanych rezultatów badań metodami eksperymentalnymi. Zawiera on rezultaty badań kalorymetrycznych: entalpii mieszania ciekłych stopów Ag-Li-Sb i entalpii tworzenia fazy trójskładnikowej Li_2AgSb . Opisano w nim też rezultaty weryfikacji wykresu fazowego układu Ag-Li-Sb od strony układu Ag-Sb za pomocą pomiaru SEM połączonego z miareczkowaniem kulometrycznym, czyli pomiarów siły elektromotorycznej w funkcji stężenia stopu (x_{Li}). Podsumowano także prace badawcze na wyznaczeniu standardowej energii Gibbsa tworzenia fazy Li_2AgSb za pomocą metody pomiaru siły elektromotorycznej dwóch różnych ogniw stężeniowych. Różnica otrzymanych standardowych energii Gibbsa tworzenia fazy Li_2AgSb wynosi ok. 4 % i mimo, że jest większa od oszacowanej niepewności pomiarowej każdego z pomiarów osobno, to biorąc pod uwagę trudności pomiarowe wydaje mi się, że jest bardzo cennym rezultatem.

I do tego rozdziału mam kilka uwag.

Po pierwsze w podpisie po rysunkiem 16 stwierdzono, że „linie przerywane wyznaczają przybliżony zakres przejścia likwidusu”. Jest to stwierdzenie potoczne, gdyż likwidus nigdzie nie przechodzi. W układzie trójskładnikowym dla stałego ciśnienia i składu chemicznego stopu jest to *temperatura* końca stabilności fazy stałej. Tak więc linie przerywane mogą tu wyznaczać zakres, w którym można zlokalizować likwidus, czyli reprezentują przybliżony zakres temperatury, w którym występuje likwidus.

Na wykresie Rysunek 17 (str. 55) nie podano, dla jakiej temperatury skonstruowano ten wykres. Stwierdzono także, że wartość $\Delta_{mix} \bar{H}_{Ag}^{\infty}$ bardzo znacząco różni się od pozostałych (str. 59).

Jak już wspomniałem w pracach naukowych należy unikać takich trudno definiowalnych porównań. Lepiej jest określić o ile się wyniki różnią, a najlepiej podać błąd względny w procentach.

W tabelach 10, 12-14, zastosowano jednostkę [% at.]. W przypadku związku Li_2AgSb stężenie powinno to być wyrażone w procentach molowych. Idąc dalej należy wskazać, że w opisie Tabeli 15 pominięta została istotna informacja, że uzyskane w niej rezultaty zostały otrzymane przy zastosowaniu cyny jako kąpiel.

Na wykresie 19 określono zmienną składu $c_{\text{Li}_2\text{AgSb}}$, której jednostką jest milimol (str. 62). Zmienna ta nie została wcześniej zdefiniowana. Gdyby to był ułamek molowy to byłby wielkością bezwymiarową. Proszę wyjaśnić, w jaki sposób określano wielkość $c_{\text{Li}_2\text{AgSb}}$. Dodatkowo bowiem za pomocą symbolu c oznaczono ilość składników w regule faz Gibbsa i stężenie fazy Li_2AgSb w rozpuszczalnikach Li i Sn.

Analizując wykresy 21 i 22 można stwierdzić, że w części bogatej w antymon wykresu 22 (wykres fazowy) tzw. formalizm dwójkowy jest niewystarczający do opisu roztworu ciekłego, co sugeruje konieczność uwzględnienia oddziaływania trójskładnikowego reprezentowanego przez zależność typu równania (30). Wniosek ten jest zgodny z rezultatami pomiarów entalpii mieszania w części wykresu bogatej w antymon wykonanymi w obecnej pracy. Topologia tej części układu sugerowałaby jednak występowanie tendencji do rozwarstwienia w fazie ciekłej. Odnosząc się natomiast do pomiarów siły elektromotorycznej jako funkcji stężenia litu opisanych w paragrafie 4.3 wydaje się, że zakresy silnej zmiany SEM określają przedziały, w których prawdopodobnie będzie można zlokalizować reakcje niezmiennicze. Tak, więc wniosek, że „nie było możliwe wykorzystanie tych danych doświadczalnych do opracowania opisu termodynamicznego fazy ciekłej” uważam za przedwczesny. Ponadto na wykresach 23 i 24 nie opisano symboli punktów pomiarowych.

Na stronie 70 doktorantka zastosowała mylący skrót myślowy pisząc: „*omawiany spadek EMF w wąskim zakresie stężeń odpowiada fazie Li_2AgSb , która prawdopodobnie jest niestechiometryczna*”. Zmiana SEM może być związana z przekroczeniem linii równowagi do obszaru stabilności trzech faz, czyli wydzielaniem się fazy trójskładnikowej. W jaki sposób jednak doktorantka doszła do wniosku, że faza ta jest niestechiometryczna?

Na stronie 77 odnośnikiem literaturowym do wykresu fazowego opracowanego na podstawie badań XDR powinna być publikacja [2017Beutl], a nie [2017Furtauer].

W rozdziale 5 zatytułowanym „Podsumowanie” Autorka w pięciu punktach zestawia otrzymane rezultaty stwierdzając osiągnięcie zakładanego celu pracy. Wnioski płynące z pracy zostały właściwie wyeksponowane.

Pracę kończy spis cytowanej literatury.

Oceniając rozprawę pod względem merytorycznym należy stwierdzić, że zarówno zaplanowane eksperymenty, dobór technik badawczych i obliczeniowych, analiza i interpretacja wyników jako całość nie budzą zastrzeżeń. Praca napisana jest poprawnie i nie zawiera błędów merytorycznych, więc na podstawie jej lektury stwierdzam, że Doktorantka wykazała się wiedzą zarówno teoretyczną jak i praktyczną w zakresie badania, analizy i modelowania właściwości termodynamicznych układów fazowych. Ponadto poznała i z powodzeniem stosowała nowoczesne techniki badawcze niezbędne w pracy naukowej.

Autorka niniejszej pracy zastosowała metodę CALPHAD w celu weryfikacji modeli termodynamicznych danymi eksperymentalnymi. Uczyniła więc pierwszy krok na drodze opracowania opisu termodynamicznego faz w układzie Ag-Li-Sb w najdokładniejszy z możliwych sposobów, czyli wzajemnie sprzężoną metodą modelowania na podstawie danych eksperymentalnych.

Na koniec należy także podkreślić, że wyniki badań entalpii mieszania ciekłych roztworów Ag-Li-Sb poddane zostały naukowej weryfikacji poprzez ich opublikowanie w roku 2018 w czasopiśmie z listy JCI: M. Bugajska, S. Furtrauer, H. Flandorfer, P. Fima; *Enthalpy of mixing of liquid Ag-Li-Sb alloys*. J. Molecular Liquids, 269 (2018) 501-510.

Pragnę jednak zaznaczyć, że lektura przedstawionej do recenzji pracy byłaby łatwiejsza, gdyby nie pewne uchybienia w warstwie edycyjnej i językowej pracy. Brakuje mi tu precyzji w opisie doświadczeń, jak i staranności w unikaniu niedomówień. Praca powinna być napisana tak, aby recenzent nie musiał domyślać się kontekstu zdania. W sposób szczegółowy odniosłem się tylko do najważniejszych z nich. Mniej istotne błędy typu literówki i przestawienia szyku zdania powstałe podczas edycji tekstu pracy zamieszczam pod hasłem „Uwagi pomniejsze”.

Należy jednak podkreślić, że uchybienia te nie podważają wartości poznawczych i użytecznych pracy Pani mgr Moniki Bugajskiej.

Uwagi pomniejsze (korektorskie):

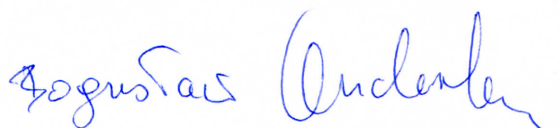
1. Str. 19, Linia 1 od dołu: W języku polskim odmienia się nazwiska autorów publikacji:
2. Str. 23, linia 5 od góry: „nie stwierdzono ubytków masy”...
3. Str. 24, linia 5 od dołu: „gdy różnica dróg optycznych jest
4. Str. 27, linia 7 od góry: „współczynnik kierunkowy związany z kątem....”
Linia 1 od dołu: „Całość zasypiana solami litu (lub LiCl-LiF)”.
5. Str. 66, linia 1 od góry: „...danych zaprezentowanych w powyższych tabelach...”.
linia 4 od góry: „...została wykorzystana w obliczeniach granicznej entalpii...”
6. Str. 67, linia 2 od góry: brakuje dwóch nawiasów pomiędzy „(17” i „podanego w rozdziale”.
7. Str. 70, linia 3 od góry: zamiast będącego przyimek jako.
8. Str. 75, linia 3 od Rys. 25: „...dodano jej wartość...”
9. Str. 78, linia 4 od góry: „...standardową energia...”
10. Ponadto braki przecinków przed: gdy, aż, kiedy, których

3. Ocena końcowa pracy.

Opiniowaną pracę oceniam pozytywnie, mając jednocześnie nadzieję, że moje uwagi będą pożyteczne przy przygotowaniu publikacji lub planowaniu kolejnych badań. Doktorantka w sposób właściwy osiągnęła postawione sobie cele, a tym samym zrealizowała zakres merytoryczny pracy. Podjęła problem, którego rozwiązanie ma istotne znaczenie z punktu widzenia zarówno poznawczego, jak i aplikacyjnego wykazując się niezbędną wiedzą w dziedzinie, a stosowane przez nią metody i techniki badawcze świadczą pozytywnie o Jej wszechstronnym przygotowaniu do pracy badawczej oraz zdolności do samodzielnego zaplanowania i przeprowadzenia eksperymentu naukowego.

Reasumując uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr Moniki Bugajskiej ma charakter oryginalnej pracy naukowej i zawiera istotne elementy poznawcze. Doktorantka wykazała się wiedzą umożliwiającą samodzielne prowadzenie badań naukowych, a Jej praca jest oryginalnym i użytecznym osiągnięciem stanowiącym istotny wkład w stan wiedzy w reprezentowanej dyscyplinie. Stwierdzam, więc że rozprawa doktorska Pani mgr Moniki Bugajskiej pt.: "Właściwości termodynamiczne stopów Ag-Li-Sb" spełnia wymogi określone w Ustawie „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami.

W związku z tym wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Moniki Bugajskiej do publicznej dyskusji nad Jej rozprawą doktorską.



Dr hab. Bogusław Onderka, prof. AGH