

dr hab. Grzegorz Dercz, prof. UŚ
Instytut Inżynierii Materiałowej
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytet Śląski
ul. 75 Pułku Piechoty 1A
41-500 Chorzów

Chorzów, 10.09.2023r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt.

*„Biodegradowalne stopy magnezu z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich
do zastosowań medycznych wykonane metodą metalurgii proszków“*

Autor: mgr Inż. Bartłomiej Hrapkowlcz

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała RDIMa.RMT.512.12.2023, Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej z dnia 11 lipca 2023r. przekazana w piśmie z dn. 11 lipca 2023r., przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa, prof. dr hab. inż. Marię Sozańską.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Bartłomieja Hrapkowicza przygotowana na Wydziale Mechanicznym Technologicznym, Politechniki Śląskiej. Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pani dr hab. inż. Sabina Lesz, prof. PŚ, natomiast Promotorem pomocniczym jest Pani dr inż. Aleksandra Drygała.

Należy podkreślić, iż Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego nr 2017/27/B/ST8/02927 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Rozprawa liczy 176 stron wydruku komputerowego i posiada typową budowę dla tego typu opracowań z podziałem na dwie części, z których pierwszą część stanowi obszerny przegląd literaturowy, natomiast druga część zawiera wyniki badań własnych wraz z ich analizą, podsumowaniem i wnioskami. Uszczegóławiając, praca doktorska złożona jest z 10

rozdziałów oraz bibliografii. Ponadto, praca doktorska zawiera streszczenia zarówno w języku polskim, jak i angielskim, spis równań, spis pojęć oraz spisy rysunków tabel odnoszące się odpowiednio do 79 rysunków i 28 tabel.

W swojej pracy doktorskiej Autor przygotował obszerny wstęp teoretyczny, wprowadzając w temat biomateriałów, w tym magnezu i jego stopów oraz bezpośrednio powiązany problem materiałowy, jakim jest korozja magnezu. Ponadto, Doktorant przedstawił metody wytwarzania, które wykorzystywał podczas realizacji pracy doktorskiej tj. mechaniczna synteza (MA) oraz iskrowe spiekanie plazmowe (SPS). Należy wskazać, że Autor szeroko omówił metody badań struktury, właściwości fizykochemicznych, mechanicznych oraz korozyjnych otrzymywanych stopów magnezu, w szczególności: dyfrakcję rentgenowską, skaningową mikroskopię elektronową wraz z analizą EDS, transmisyjną mikroskopię elektronową, tomografię komputerową, granulometrię (pomiar wielkości cząstek), pomiar gęstości oraz porowatości otrzymanych spieków, pomiar mikrotwardości, próbę ściskania, jak również badania potencjodynamiczne, elektrochemiczną spektroskopię impedancyjną oraz badania uwalniania wodoru.

Przegląd literatury obejmuje głównie prace z ostatnich lat, zawiera 321 publikacji, w tym 5 prac współautorskich Doktoranta, z czego w trzech pozycjach pierwszym autorem wskazany jest mgr inż. Bartłomiej Hrapkowicz, W opinii Recenzenta świadczy to o bardzo dobrej orientacji Autora w temacie stopów magnezu, w szczególności materiałów biodegradowalnych oraz metod metalurgii proszków i iskrowego spiekania plazmowego. Praca napisana jest poprawnym językiem technicznym przy zastosowaniu specjalistycznej nomenklatury wraz z dobrze opracowanymi rysunkami oraz dobrą jakością badań.

Oceniając cały układ pracy uważam, że jest on właściwy i odpowiada wymaganiom prac doktorskich.

3. Ocena doboru tematyki i zakresu pracy

Stopy na osnowie magnezu cieszą się coraz większym zainteresowaniem z uwagi na ich atrakcyjne własności mechaniczne i biologiczne, które mogą być wykorzystane do produkcji materiałów biodegradowalnych w aplikacjach medycznych. Przedłożona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Bartłomieja Hrapkowicza stanowi szerokie opracowanie dotyczące zagadnień związanych z wytwarzaniem oraz charakterystyką relatywnie nowej grupy



biomateriałów dotyczącej stopów magnezu jako biomateriałów na biodegradowalne implanty.

Główny cel naukowy niniejszej rozprawy doktorskiej, jak wskazuje Autor, koncentruje się na wytworzeniu oraz scharakteryzowaniu struktury, właściwości fizykochemicznych, mechanicznych oraz korozyjnych uprzednio mielonych, a następnie spiekanych materiałów na bazie magnezu z dodatkiem wybranych pierwiastków ziem rzadkich tj. Erbu i Prazeodymu o ogólnym składzie chemicznym $Mg_{66-x}Zn_{30}Ca_4RE_x$, gdzie RE to Pr, Er; $x = 1, 2, 3 \%$ at.

Zastosowanie jako dodatku stopowego pierwiastków ziem rzadkich, według Autora może w znaczący sposób poprawić własności mechaniczne oraz odporność korozyjną stopów magnezu. Jednocześnie należy wskazać na różny stopień toksyczności pierwiastków RE, stąd do zaprojektowania stopu o potencjalnym przeznaczeniu medycznym, Doktorant pozostawił do rozważań naukowych tylko dwa: Prazeodym oraz Erb. Argumentując zastosowanie Pr jako dodatku stopowego, mgr inż. Bartłomiej Hrapkowicz podkreślił, że jest on interesującym pierwiastkiem, szczególnie ze względu na możliwość umocnienia stopu oraz względnie niską toksyczność w porównaniu z innymi pierwiastkami ziem rzadkich. Ponadto, jak wskazuje Autor, Prazeodym zwiększa odporność na korozję w stopach Magnezu, ale jednocześnie nie ma żadnej znanej roli biologicznej, a jego toksyczność jest stosunkowo niska. Niestety, jak wskazuje mgr inż. Bartłomiej Hrapkowicz, w odniesieniu do Erbu nie ma szerszych badań świadczących o jego bezpośrednim wpływie na organizm, a biologiczna rola Er, jak w przypadku innych RE nie jest znana, aczkolwiek istnieją pewne doniesienia na temat pobudzania metabolizmu pod wpływem Erbu. Niestety, Autor w swej dysertacji nie uzasadnił dlaczego dobrał takie konkretne zawartości Pr oraz Er jako dodatki stopowe, wskazując jedynie, cyt. „*ilości poszczególnych pierwiastków zostały dobrane bazując na doniesieniach literaturowych*”, co powoduje pewien niedosyt informacyjny.

Do wytworzenia materiału badań, Doktorant zastosował dwie połączone metody, tj. mechaniczną syntezę oraz iskrowe spiekanie plazmowe. Argumentując zastosowanie mechanicznej syntezy, Autor podkreślił niekonwencjonalność tej metody, bowiem umożliwia ona wytworzenie zarówno nierównowagowych faz oraz struktur, ale także stopów trudnych do uzyskania w sposób tradycyjny, na przykład amorficznych czy nanokrystalicznych. Natomiast, uzasadniając zastosowanie metody iskrowego spiekania plazmowe, Doktorant wskazał, że metoda ta jest stosowana dla materiałów trudno spiekalnych a uzyskane spieki

charakteryzują się dużą gęstością oraz korzystnymi własnościami mechanicznymi co jest szczególnie istotne w przypadku materiałów stosowanych na implanty.

Takie podejście do badanej w dysertacji grupy materiałów, jest nowatorskie i zasługuje na podkreślenie, bowiem wytwarzanie metalowych materiałów resorbowalnych na bazie magnezu metodą mechanicznego stopowania wraz następnym iskrowym spiekaniem plazmowym, jest stosunkowo nowym rozwiązaniem o nieznaczej ilości literatury w porównaniu do sposobów wytwarzania tych materiałów.

W oparciu o studia literaturowe i wyniki własnych badań doświadczalnych sformułowano tezę pracy: *„Wykorzystanie metalurgii proszków obejmującej przygotowanie proszków z użyciem mechanicznej syntezy (MA) oraz ich formowanie i spiekanie z wykorzystaniem iskrowego spiekania plazmowego (SPS) umożliwi wytwarzanie stopów magnezu z dodatkiem Zn, Ca oraz RE (Pr, Er) o strukturze, biodegradowalności i własnościach mechanicznych umożliwiających ich zastosowanie w medycynie jako potencjalne materiały na implanty ortopedyczne”*, a jej realizacja była oparta na przedstawionym na rys. 5 Schemacie programu badawczego.

Podsumowując, przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej badania nad nowymi materiałami magnezowymi, mają na celu poszerzenie podstawowej wiedzy w zakresie wytwarzania i własności, co powinno prowadzić do dalszego rozeznania zdolności aplikacyjnych takich materiałów. Moim zdaniem, recenzowana praca dotyczy zagadnień o istotnej wartości zarówno poznawczej oraz aplikacyjnej.

4. Ocena merytoryczna pracy

Oceniając pracę od strony merytorycznej warto podkreślić, że zaplanowane eksperymenty oraz interpretacja wyników wykonane są starannie i jako całość stanowią dobre opracowanie badań nad strukturą, właściwościami fizykochemicznymi, mechanicznymi oraz korozyjnymi otrzymywanych metodami MA oraz SPS stopów magnezu. Badania wykonano w sposób przemyślany i wykorzystano odpowiedni ich zestaw w celu charakterystyki wytworzonych materiałów.

Powyższe wyraźnie wskazuje na znaczący warsztat badawczo - naukowy oraz potwierdza, że Doktorant w sposób swobodny posługuje się zastosowanymi metodami aby zrealizować cel pracy.

Lektura rozprawy doktorskiej przynosi następujące uwagi, komentarze oraz pytania:

1. Na stronie 46, Autor pisze, cyt. *"Bazując na wynikach otrzymanych z rentgenowskiej analizy fazowej, stopy wytworzone metodą MA o największej powtarzalności oraz adekwatnym składzie fazowym wybrano jako materiał do iskrowego spiekania plazmowego (SPS)."* Recenzent prosi o wyjaśnienie, jakimi kryteriami kierował się Autor pisząc o największej powtarzalności i adekwatności składu fazowego.
2. Brak uzasadnienia dlaczego do realizacji celu pracy jako dodatki stopowe zastosowano konkretne (1 - 3 % at.) zawartości Pr oraz Er, stąd Recenzent prosi o wyjaśnienie.
3. Brak jest wyjaśnienia przyczyn zmian parametrów sieciowych, tym bardziej, że w niektórych przypadkach dochodzi do dość istotnych zmian tych parametrów, jak np. dla MgZn₂ (Tabela 14) po czasie mielenia 8h i 13h parametr Co wynosił odpowiednio 9,8614(8) Å i 10,2918(6) Å, podczas gdy według danych katalogowych ICDD PDF4+ parametr ten wynosi 8,5660 Å. Recenzent prosi o wyjaśnienie możliwych przyczyn tak znaczącej ekspansji komórki elementarnej, niestety zarówno w części opisowej jak i dyskusji wyników ta kwestia jest nie opisana.
4. W pracy wyraźnie widoczny jest brak map rozkładu pierwiastków dla przekrojów poprzecznych badanych proszków po mieleniu. Wykorzystanie techniki mapowania EDS pozwoliłoby określić rozkład pierwiastków w materiale, możliwość ewentualnych koncentracji danego pierwiastka. W przyszłych badaniach Recenzent zaleca wykorzystanie tego prostego badania do określenia jednorodności otrzymanych materiałów.
5. Podczas opisywania w tekście czy prezentowania wyników na wykresach, brak jest podanych odchyień dla wyznaczonych mikrotwardości, porowatości czy dla oszacowanych wielkości kryształitów oraz zniekształceń sieciowych.
6. W pracy Autor posługuje angielsko brzmiącym terminem „at. %”, „wt. %”, podczas gdy w języku polskim istnieje odpowiednik zwrotu „% at.” czy „% wag.”. O ile w plikach wynikowych w postaci zdjęć z mikroskopu jest to do zaakceptowania, bowiem nie istnieje możliwość ingerencji przez operatorów w taki zapis, to podczas redagowania tekstu czy tabel i rysunków taka możliwość zapisu istnieje.
7. Czy w ramach jakościowej i ilościowej analizy chemicznej był wyznaczony poziom zawartości tlenu zarówno dla spieków, jak samych proszków po różnych czasach

mielenia? Czy są różnice? Jaka jest tendencja? W przypadku braku prowadzenia badań, proszę wskazać jakimi metodami i z jaką dokładnością możliwa jest analiza zawartości tlenu w stopach metali, a w szczególności magnezu.

8. Zauważono niedostatecznie opisane widma SEM EDS, widoczne są niezidentyfikowane piki np. na rys. 24; 26; 36; 44; 52; 54.
9. Wielofazowa struktura otrzymanych stopów widoczna jest także na przeprowadzonych obserwacjach mikroskopowych. Autor przy opisywaniu wyników jak i podpisach pod rysunkami nie podał niestety w jakim kontraście zarejestrowane zostały obrazy SEM, czy było to np. SEI czy też np. BSE.
10. Pewne wątpliwości metodologiczne budzi brak przywołania wzorca profilu linii dyfrakcyjnej celem eliminacji składowej aparaturowej w zakresie opisu zastosowanej metody do oszacowania wielkości krystalitów oraz zniekształceń sieciowych. Jak powszechnie wiadomo, w celu poprawnego wyznaczenia wartości wielkości krystalitów metodami dyfrakcji rentgenowskiej, powinno użyć wzorca profilu linii np. LaBe (NIST SRM 660a) w celu wyeliminowania wpływu czynników aparaturowych na poszerzenie linii dyfrakcyjnych. Czy Autor zastosował taką procedurę w swych badaniach? Jeśli tak, jaki wzorzec został użyty?
11. Str. 119. Autor pisze: cyt. „Zbyt długie mielenie może doprowadzić do zanieczyszczeń w postaci materiału pojemnika oraz mielników dyfundujących do mielonego stopu”. Czy w pracy sprawdzano poziom potencjalnych zanieczyszczeń mogących dostać się do materiału podczas procesu mielenia? Jeśli tak, to w jakim zakresie występowały? Z punktu widzenia aplikacji medycznej jest to istotna wiedza, bowiem zarówno reaktor jak i mielniki wykonano ze stali 316L (1.4404), która zawiera, między innymi, znaczną zawartość Niklu, co z punktu widzenia biomedycznej aplikacji w kontekście materiału resorbowalnego jest niedopuszczalne. Nikiel jest pierwiastkiem, który wywołuje stan zapalny tkanki okołowszczepowej, jest kancerogeny oraz często wykazuje odczyn zapalny, zwłaszcza w organizmie kobiet.
12. Str. 129. Autor pisze: cyt. „Wyraźnie widać różnice w wartościach modułu Younga, które są dużo wyższe dla spieków Mg-Zn-Ca-Pr aniżeli dla Mg-Zn-Ca-Er, natomiast są niższe od wartości komercyjnie dostępnych stopów takich jak np. AZ31 (10,04 GPa) [257], AZ81 (46 GPa) [258], bądź zbliżone do np. AZ61 (7,6 GPa) [257].” Niestety brak

jest wyjaśnień i dyskusji w oparciu o literaturę z czego mogą wynikać wspomniane różnice, stąd Recenzent prosi o wyjaśnienie.

13. Str. 130. Autor pisze: cyt. „Przeprowadzona dla spieków stopów Mg-Zn-Ca-Pr oraz Mg-Zn-Ca-Er analiza mikrotwardości (Tabela 24) wykazała spadek średniej wartości HV względem stopów wytwarzanych metodą MA (Tabela 19) dla spieków stopów Pr1_20h (z 308 na 291 HV), Pr3_30h (z 371 na 320 HV), Er3_30h (z 294 na 347 HV), natomiast dla pozostałych spieków stopów zaobserwowano wzrost średniej wartości mikrotwardości, Pr2_20h (z 312 na 339 HV), Er1_20h (z 286 na 319 HV), Er2_20h (z 301 na 369 HV)”. W pierwszej kolejności należy wskazać błąd w opisie, bowiem dla Er3_30h wg. Tabeli 19 powinno być 394, a nie jak zapisano 294. Po drugie, uwzględniając wartości odchyień standardowych (Tabele 19 oraz 24) dla niektórych spieków wyznaczone wartości mikrotwardości są porównywalne, jak np. dla Pr1_20h; czy Pr2_20h. Po trzecie, najważniejsze, niestety brak jest wyjaśnień i dyskusji w oparciu o literaturę z czego mogą wynikać wspomniane różnice w mikrotwardości, stąd Recenzent prosi o wyjaśnienie tej kwestii.
14. Str. 132. Autor pisze: cyt. „Wartości gęstości prądu korozyjnego jkor dla spieków stopów Mg-Zn-Ca-Pr wskazują, że najwyższą odporność korozyjną osiągnął spiek stopu Pr2_20h, natomiast wartości spieków stopów Pr1_20h oraz Pr3_30h są do siebie porównywalne i dużo mniejsze od wartości spieku Pr2_20h.” Niestety brak jest wyjaśnień i dyskusji w oparciu o literaturę z czego mogą wynikać wspomniane różnice w zakresie odporności korozyjnej, stąd Recenzent prosi o wyjaśnienie tej kwestii.
15. Str. 132. Autor pisze: cyt. „Dyfraktogramy opisujące wyniki analizy rentgenowskiej przeprowadzonej po badaniach immersyjnych (Rys. 59) nie wskazują na obecność fazy Mg(OH)2. Może to być związane z mechanizmem korozyjnym Mg w roztworach z zawartością jonów chloru, jakim jest też roztwór Ringera [298-300].” W ocenie Recenzenta, brak widocznej fazy Mg(OH)2 może wynikać z zastosowanej techniki badawczej. Należy wskazać, że do analizy takich przypadków a więc składu fazowego na powierzchni należy stosować metodę stałego kąta padania promieniowania rentgenowskiego (GIXD - *Grazing Incidence X-ray Diffraction*).
16. Str. 13, przy opisywaniu materiałów ceramicznych w rozdziale 2.1., Autor pisze, cyt. „Tytan posiada zestaw bardzo pożądaných własności, zarówno wytrzymałościowych



jak i biokompatybilnych, nie oznacza to jednak, że jest pozbawiony wad. Nie jest on już uważany za materiał całkowicie bioinertny z uwagi na badania dotyczące uczuleń u pacjentów raportowanych przez wiele źródeł", stąd rodzi się pytanie, czy według Autora, tytan należy do materiałów ceramicznych czy metalicznych? Z jakim typem wiązań mamy do czynienia w tytanie?

17. Str. 30, Autor pisze, cyt: *"...struktura amorficzna charakteryzuje się chaotycznym ułożeniem, podobnym do struktury szkła"*. Czy na pewno należy tu mówić o chaotycznym ułożeniu czy raczej o braku uporządkowania dalekiego zasięgu?

Podczas czytania pracy rozprawy odczuwalny jest pewien pośpiech w opracowywaniu jej treści. Miejscami pojawiają się usterki natury terminologicznej, jak i czysto edytorskiej, na przykład:

- Tabele 16; 17; 24, różna ilość cyfr znaczących w wartościach zamieszczonych w wierszach i kolumnach.
- Błędne stosowanie kropek zamiast przecinków do rozdzielania liczb, np. Rys. 30; 56; 57 czy w tekście np. Rozdział „Dyskusja wyników”, str. 116, cyt. *„zbliżonej do kości ludzkiej gęstości (Mg - 1.738 g/cm³ [176], kość kobiety - 0.96-1.39 g/cm³, kość mężczyzny - 0.92-1.35 g/cm³”*, czy np. str. 122, cyt. *„w zakresie 5.2230 - 5.7383 A dla fazy MgZn₂, parametr sieciowy c wykazywał tendencję wzrostową osiągając wartość 10.2918 A po 13h MA.”* itd.
- Brak odpowiedniej indeksacji przy zapisywaniu związków, np. str. 121, jest MgZn2 zamiast MgZn₂
- Tekst, np. Dyskusja wyników str. 122 oraz Tabele 14; 15; 20 oraz 13, parametry sieciowe zwyczajowo zapisuje się w następujący sposób: „oo”, „bo” oraz „co”, a nie jak w pracy „a” czy „c”,
- Str. 127, błędnie zapisano symbol grupy przestrzennej P63/mmc no. 136, powinno być P63/mmc,

Zdaniem Recenzenta, treść rozprawy stanowi zamkniętą całość, a postawione cele zostały w pełni zrealizowane. Rozprawa jest napisana zazwyczaj poprawnym technicznie językiem i posiada starannie opracowaną szatę graficzną. Według Recenzenta przedstawiona rozprawa



doktorska jest wartościowa i stanowi podstawę do dalszych badań naukowych zarówno dla Doktoranta, jak i innych badaczy, nie tylko z grupy badawczej Katedry Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej.

Reasumując należy zaznaczyć, że do istotnych osiągnięć Doktoranta należą:

1. Udowodniono postawioną tezę rozprawy doktorskiej wykazując, że wykorzystanie metody metalurgii proszków, obejmującej przygotowanie proszków z użyciem mechanicznej syntezy (MA) oraz ich formowanie i spiekanie z wykorzystaniem iskrowego spiekania plazmowego (SPS), umożliwiło wytworzenie oraz scharakteryzowanie struktury, własności fizykochemicznych i mechanicznych proszków stopu $Mg_{6-6-x}Zn_3OCa4RE_x$ (gdzie, RE: Pr, Er oraz $x = 1 - 3 \%$ at.).
2. Uzyskano w strukturze spiekanych stopów Mg-Zn-Ca-RE (Pr, Er) fazy amorficzne oraz roztwory stałe i fazy międzymetaliczne, przy jednocześnie występujących nanokrystalicznych silnie odkształconych cząstek Pr i Er.
3. Wykazano, że zaproponowane połączenie metody MA oraz SPS umożliwiło wytworzenie materiału w postaci spiekanych stopów Mg-Zn-Ca-Pr oraz Mg-Zn-Ca-Er, dla których wartości modułu Younga, wynosiły odpowiednio ~ 7 GPa oraz $\sim 3,41 - 4,48$ GPa i mieściły się w zakresie wartości modułu dla kości człowieka (3-30 GPa).
4. Wykazano, że dla większości wytworzonych próbek (poza próbką Pr3_30h) maksymalna objętość uwolnionego wodoru ze spiekanych stopów w ciągu jednej doby zanurzenia w roztworze Ringera jest mniejsza od dawki, którą mogą zaabsorbować tkanki organizmu ludzkiego (1 ml/h).
5. Stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie R_c spiekanych stopów Mg-Zn-Ca-Pr jest zbliżona do wytrzymałości kości ludzkiej.

5. **Ocena i wniosek końcowy**

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa jest dobrze ułożona w obecnym stanie wiedzy, została wykonana i napisana na odpowiednim poziomie naukowym i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autor wykazał, że posiada szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie wytwarzania połączonymi metodami metalurgii proszków oraz iskrowego spiekania plazmowego stopów magnezu z dodatkiem Zn, Ca oraz RE (Pr, Er)

o strukturze, biodegradowalności i własnościach mechanicznych umożliwiającymi ich zastosowanie w medycynie jako potencjalne materiały na implanty ortopedyczne. Ponadto, dysertacja zawiera obszerny materiał badawczy uzyskany przez Autora w wyniku przeprowadzonych badań struktury, właściwości fizykochemicznych, mechanicznych oraz korozyjnych oraz dyskusję mającą swoje umocowanie w cytowanej literaturze, których wyniki zinterpretował i opisał poprawnie wyciągając logiczne i praktyczne wnioski, czym udowodnił ponad wszelką wątpliwość, że potrafi samodzielnie prowadzić badania naukowe.

Przedstawione przez Recenzenta uwagi nie wpływają na wysoką jakość pracy, a odnoszą się jedynie do niektórych sformułowań Doktoranta, interpretacji wyników badawczych, warunków prowadzenia eksperymentów, czy też nieświadomych pominięć niektórych faktów dla Autora oczywistych, a nie ujętych w pracy. Uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją bardzo pozytywną ocenę.

Wysoko oceniam rozprawę doktorską Pana mgr inż. Bartłomieja Hrapkowicza. Autor pracy trafnie wybrał nie tylko tematykę badań, ale również umiejętnie sformułował tezę pracy, zaprojektował plan badawczy oraz przeprowadził analizę otrzymanych wyników badań. Zarówno wykonane badania eksperymentalne, jak i przemyślenia przedstawione w pracy potwierdzają dojrzałość naukową Doktoranta, co wskazuje na wyraźnie ukształtowany obszar zainteresowań naukowych.

W mojej opinii przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Bartłomieja Hrapkowicza pt.: *„Biodegradowalne stopy magnezu z dodatkiem pierwiastków ziem rzadkich do zastosowań medycznych wykonane metodą metalurgii proszków”*, spełnia ustawowe wymogi ustawy stawiane pracom doktorskim zgodnie z art.13 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm. W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie rozprawy mgr inż. Bartłomieja Hrapkowicza i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

