



dr hab. inż. Jacek Ryl, prof. PG  
Instytut Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej  
Politechniki Gdańskiej

06.09.2023 r.

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Marka Marczewskiego

pt. „Morfologia powierzchni stali nierdzewnej 316L polerowanej elektrochemicznie w cieczach DES jako zielonych rozpuszczalnikach”

Podstawą do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej, prof. Grażyny Gryglewicz z dnia 12 lipca 2023 r. (RPW/27336/2023 N). Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została wykonana na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, w Katedrze Zaawansowanych Technologii Materiałowych. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Włodzimierz Tylus, prof. PWr, natomiast promotorem pomocniczym dr hab. inż. Juliusz Winiarski, prof. PWr.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska przygotowana została w postaci tradycyjnej monografii naukowej, zbudowanej łącznie z 7 rozdziałów. Pierwsze z nich Autor poświęca wstępowi i przeglądowi literatury związanej z modyfikacją stali wysokostopowych. W rozdziale tym Autor poświęca znaczną uwagę omówieniu procesu polerowania elektrochemicznego. Następnie, po zapoznaniu czytelnika z celem rozprawy doktorskiej, przedstawiono metodykę badawczą oraz przeprowadzone pomiary. Dyskusja uzyskanych wyników prowadzona osobno w dwóch rozdziałach, wieńczonych krótkim podsumowaniem. Podstawowe efekty prowadzonych badań opisano we wnioskach na końcu manuskryptu.

Celem naukowym pracy, cytując samego Autora, jest wykazanie w jakim stopniu parametry procesu polaryzacji anodowej stali w cieczy głęboko eutektycznej, złożonej z chlorku choliny i glikolu propylenowego, wpływają na topografię powierzchni, jej morfologię oraz odporność na korozję. Autor stawia tezę, że możliwe jest prowadzenie procesu polaryzacji anodowej stali austenitycznej 316L w niewodnych rozpuszczalnikach eutektycznych w celu uzyskania efektu polerowania powierzchni i wzrostu odporności na korozję.

Wykorzystanie cieczy głęboko eutektycznych DES jednoznacznie wpisuje się nurt badań z zakresu tzw. zielonej chemii, czyli podejścia do produkcji chemicznej, które minimalizuje jej negatywny wpływ na środowisko, zmniejsza ilość odpadów i toksycznych substancji, oraz promuje zrównoważoną produkcję i wykorzystanie surowców.

Opisane w rozprawie ciecze eutektyczne (DES) stanowią „zielone” odpowiedniki cieczy jonowych, złożonych z akceptora i donora wiązania wodorowego. Znaczna część cieczy eutektycznych wytwarzana jest z naturalnych surowców, chociaż ta uwaga nie dotyczy akurat wykorzystanych w rozprawie chlorku choline i glikolu propylenowego. Zarówno ich poziom toksyczności, efektywność czy kosztocłonność produkcji przemawiają za zastępowaniem innych cieczy jonowych przez DES. Ciecze eutektyczne stosowane są m.in. w ekstrakcji, separacji i syntezie chemicznej, ale również jako nośniki leków, jako rozpuszczalniki reaktywne w procesach katalizy i w elektrochemii. Wysokie przewodnictwo elektryczne sprawia, że DES testowane są m.in. jako elektrolity w bateriach i superkondensatorach. Autor zauważa, że wysoka wydajność prądowa, duża podatność na modyfikację składu, szerokie okno potencjałowe oraz niewielka agresywność korozyjna stawiają ciecze eutektyczne jako potencjalnie wartościowe zamienniki elektrolitów wodnych w procesie polerowania elektrochemicznego, wskazując również na ich wykorzystanie w innych procesach galwanotechnicznych. Recykling cieczy eutektycznych pozwoli potencjalnie uniknąć kosztów środowiskowych związanych ze składowaniem silnie utleniających kwasów, wykorzystywanych w elektrolitach wodnych. Wymiana standardowej kąpieli wodnej na niewodny elektrolit oparty na cieczach eutektycznych może zatem być zgodna z założeniami zielonej chemii.

Wstęp teoretyczny napisany jest poprawnie. Autor opisuje w nim w pierwszej kolejności stal jako materiał konstrukcyjny, opisując strukturę krystaliczną i składniki fazowe, występujące w układzie żelazo-cementyt. Następnie skupia się na stalach wysokostopowych, których reprezentantem jest badane przez niego stal 316L. W dalszej części wprowadzenia teoretycznego Autor opisuje wybrane przez siebie modyfikacje powierzchni stali, w tym nakładanie powłok ochronnych, polerowanie mechaniczne, chemiczne oraz elektrochemiczne. Są to procesy o bardzo dużym znaczeniu praktycznym, których efektywne wykorzystanie bardzo często zależy od pozornie mających mniejsze znaczenie parametrów operacyjnych. Konceptji zielonej chemii autor poświęca podrozdział 2.3, w którym przedstawia on wybrane rozpuszczalniki eutektyczne i ich technologiczne zastosowanie. Rozdział ten jako jedyny pozostawia we mnie niedosyt. Wokół zastosowania DES Autor buduje cel i tezy swojej pracy, oczekiwałbym więc dalece idącego przeglądu literatury (nie tylko wymienienia, że takowa istnieje), omówienie stanu wiedzy, bieżących wyzwań i ograniczeń. Informacje te pozwoliłyby czytelnikowi na lepsze zorientowanie się odnośnie znaczenia badań zaplanowanych i zrealizowanych przez Autora dysertacji.

Mgr inż. Marek Marczewski skupia prowadzone przez siebie badania na opisie efektów wykorzystania wyłącznie jednej cieczy eutektycznej jako elektrolitu podczas procesu polerowania elektrochemicznego. Rozpuszczalnikiem tym był DES złożony z chlorku choline i glikolu propylenowego. Należy tu wspomnieć, że Autor w tytule rozprawy delikatnie wprowadza czytelnika w błąd, sugerując liczbę mnogą badanych rozpuszczalników. Rozszerzenie badań na inne rozpuszczalniki pozwoliłoby na dostarczenie elementarnych informacji odnośnie roli właściwości chemicznych i fizycznych cieczy eutektycznych na proces polerowania. Z drugiej jednak strony, ze względu na ograniczenia czasowe prawdopodobnie niezbędna była selekcja czynników, poddanych wnikliwej analizie.

Badania eksperymentalne zrealizowane przez mgr inż. Marka Marczewskiego podzielone zostały na dwie podstawowe części. Pierwsza z nich jest dedykowana ocenie wpływu temperatury i gęstości prądu polerowania elektrochemicznego ( $T$  od 35 do 75 °C,  $j$  od 10 do 70 mA/cm<sup>2</sup>, dla  $t = 10$  min), podczas gdy druga skupia się na zrozumieniu wpływu czasu trwania ww. procesu (w zakresie 0.5 do 20 min, dla  $T = 65$  °C,  $j = 40$  mA/cm<sup>2</sup>). W rozdziałach tych Autor bardzo skrupulatnie opisuje wyniki swoich badań. Dla każdego z

zaprezentowanych wyżej warunków prowadzenia procesu polerowania elektrochemicznego przedstawione zostały mikrografie uzyskane za pomocą mikroskopu elektronowego SEM, mikroskopu sił atomowych AFM oraz fotografie. Badania te pozwoliły w szczególności na wyznaczenie uzyskanych chropowatości i połysku oraz zestawienie ich z próbkami referencyjnymi, bez modyfikacji oraz poddanej wyłącznie szlifowaniu. Dla wybranych próbek Autor przeprowadził analizę spektroskopową składu chemicznego wytworzonych warstw pasywnych (techniką spektroskopii fotoelektronów w zakresie promieniowania X, XPS) oraz powierzchni samej stali (techniką mikroanalizy rentgenowskiej, EDX). Na szczególne uznanie zasługuje wykorzystanie przez niego w badaniach spektrometrii emisji atomowej ze wzbudzeniem w indukowanej plazmie (ICP-AES) do badania składu chemicznego kąpielii po procesie polerowania elektrochemicznego. Jest to niezwykle czułe, choć nieczęsto używane narzędzie, pozwalające w tym przypadku na dostarczenie szczegółowych informacji odnośnie szybkości i selektywności wytrawiania poszczególnych składników stopowych badanych stali. Tezę dotyczącą wpływu polerowania na odporność korozyjną Autor weryfikuje za pomocą długotrwałych pomiarów potencjału korozyjnego i polaryzacji rezystancyjnej, a także zarejestrowanych krzywych polaryzacyjnych. Badania te prowadzone są w roztworze modelowym 0.5 M NaCl. Badania te przeprowadzono ponownie po upływie 3 miesięcy ekspozycji, w celu oceny długoterminowej poprawy odporności stali na korozję.

Porównanie składów kąpielii pozwoliło Autorowi na określenie dla jakich warunków polerowania elektrochemicznego możliwe jest uniknięcie selektywnego wytrawiania powierzchni, które może prowadzić do wzrostu jej niejednorodności. Wprowadzona szczególnie przy niskich gęstościach prądu chropowatość próbek wynikała z nadmiernego wytrawiania żelaza względem innych składników stopowych. Zaobserwowano również, że wzrost temperatury wyraźnie przyspieszał proces trawienia pierwiastków stopowych. Prowadzenie procesu w zbyt niskich temperaturach prowadzić może do powstawania wżerów, obniżając odporność na korozję pomimo potencjalnego wzbogacenia powierzchni stali w chrom. Tym niemniej nawet w temperaturze 65 °C, pomimo spadku mikro nierówności obserwuje się wzrost średniej chropowatości Ra, co prowadzi do ograniczonego efektu w badaniach połysku. Efekt ten opisany został jako „efekt skórki pomarańczy”. Badania XPS potwierdziły ponadto, że warstwa pasywna złożona jest głównie z wodorotlenków (w części zewnętrznej) i tlenków (w części wewnętrznej) chromu (III). Optymalny efekt otrzymano po polaryzacji w temperaturze 65 °C i przy gęstości prądu równej 40 mA/cm<sup>2</sup>, gdzie uzyskano najwyższą odporność na korozję i dość wysoki połysk 411 GU. Parametry te zostały wybrane jako bazowe w drugiej części prac eksperymentalnych, wpływu czasu prowadzenia polerowania. W rozdziale tym potwierdzono, że czas 10 min, pierwotnie wytypowany na podstawie doświadczenia Autora, był optymalny. Stal cechuje się wtedy najlepszą odpornością korozyjną przy zachowaniu zadowalających aspektów wizualnych. W pierwszych minutach polaryzacji obserwuje się też bardziej selektywne trawienie żelaza. Z drugiej strony polaryzacja przez 20 min prowadziła do nadmiernej chropowatości próbki. Jako osoba nie prowadząca na co dzień procesów polerowania elektrochemicznego, niżej podpisany żałuje, że Autor nie zdecydował się na przedstawienie bezpośredniego porównania pomiędzy uzyskanymi w dysertacji wynikami (chropowatość, połysk, odporność na korozję) z tymi uzyskiwanymi w wybranym elektrolicie wodnym. Dałoby to lepsze zrozumienie zalet i ograniczeń badanego przez niego elektrolitu.

Podsumowując, można stwierdzić że praca badawcza mgr inż. Marka Marczewskiego pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków. Wykazano, zgodnie z postawioną tezą pracy, że możliwe jest prowadzenie procesu obróbki przez polerowanie elektrochemiczne w rozpuszczalniku eutektycznym złożonym z chlorku choliny i glikolu propylenowego. Wykazano również znaczenie warunków prowadzenia procesów

obróbki (temperatury kąpeli, czasu i gęstości prądu), wskazując warunki  $T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $j = 40\text{ mA/cm}^2$  i  $t = 10\text{ min}$  jako optymalne. Oceniono, że podstawowym problemem jest nadmierne wytrawianie żelaza, prowadzące do powstawania niejednorodności na powierzchni stali.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marka Marczewskiego nie jest jednak pozbawiona wad. Z tego względu chciałbym prosić jej Autora o ustosunkowanie się do poniższych uwag i wyjaśnienie niektórych, spornych w mojej ocenie wniosków. Niektóre z moich uwag mają ponadto charakter dyskusyjny, gdyż określona informacja nie została w czytelny sposób przedstawiona w manuskrypcie.

1. Jakimi kryteriami kierował się Autor wybierając właśnie glikol propylenowy i chlorek choliny? W opisie teoretycznym, na str. 31 Autor bardzo pobieżnie informuje czytelnika, że rozpuszczalniki DES wykorzystywane były wcześniej do polerowania Ti, Al, Cu, Co, stali i brązów. Autor zostawia jednak czytelnika bez dostarczenia podstawowych informacji argumentujących swój wybór co do rozpuszczalnika. Szczególnie brakuje mi rozwinięcia wątku oraz porównania do własnych wyników pracy Abbott i inni [120], którzy opisują wykorzystanie bardzo zbliżonej cieczy eutektycznej (chlorku choliny i glikolu etylenowego), do trawienia stali 316L. Autorzy ww. pracy również referują, że trawienie stali przebiega wg. mechanizmu odmiennego od roztworów wodnych, co prowadzi do występowania wżerów przy niskich gęstościach prądu trawienia.
2. Autor wspomina, że do kąpeli podczas polerowania elektrochemicznego dodaje się glicerynę jako stabilizator redukujący utlenianie żelaza. Prosiłbym o wyjaśnienie mechanizmu tego procesu. Czy glikol propylenowy, będący składnikiem użytej cieczy eutektycznej może cechować się podobną zdolnością?
3. Autor zdaje się stosować dwie różne geometrie próbek: (i) krążki o średnicy 1.48 mm (cm?) oraz grubości 1.5 mm. (ii) płytki o wymiarach 5 x 2 cm i grubości 1.5 mm. Zważywszy na raportowaną powierzchnię krążków ( $4.1\text{ cm}^2$ ), zakładam że jeden z wymiarów jest błędny. Dlaczego nie użyto jednej geometrii próbek?
4. Autor wielokrotnie komentując badania mikroskopowe wnioskuje, że obecność wżerów na powierzchni świadczyć może o nadmiernej selektywności wytrawienia poszczególnych pierwiastków do roztworu roboczego (str. 42, 55, 62, 64, 68, 81). Mam problem z tym stwierdzeniem. Po pierwsze, na poziomie omawiania wyników mikroskopowych Autor nie dysponuje danymi pomiarowymi, które mogłyby uwiarygodnić tą hipotezę (dane te prezentuje dopiero w dalszej części pracy). Po drugie, korozja selektywna danego pierwiastka jest procesem prowadzącym do powstawania mikro- i nano-niejednorodności. W przypadku makroskopowych wżerów spodziewałbym się raczej do selektywnego wytrawiania ziaren lub selektywnego roztwarzania warstwy pasywnej. Dowody na selektywne trawienie pierwiastków Autor rozprawy przedstawia dopiero w rozdziale 5.4 (str. 90), na podstawie analiz elektrolitów, z wykorzystaniem techniki ICP-AES. Dane te informują o selektywnym trawieniu chromu czy niklu, ale wciąż nie dowodzą, że jest to przyczyną powstawania wżerów.
5. Na mikrografiach SEM dla wszystkich próbek, szczególnie dla wysokich gęstości prądu polaryzacji widoczne są ciemne, najczęściej punktowe zanieczyszczenia. Autor wiąże ich obecność z nieefektywnie prowadzoną kąpielą ultradźwiękową (str. 53). Tego rodzaju przebarwienia wynikają faktycznie z adsorpcji zanieczyszczeń organicznych na powierzchni próbek. Niemożliwość ich oczyszczenia po polerowaniu może sugerować brak stabilności badanej cieczy eutektycznej i jej

- chemisorpcję na powierzchni stali. Czy Autor próbował usuwać zanieczyszczenia za pomocą różnych rozpuszczalników aby uniknąć ich wpływu na badania korozyjne?
6. Prosiłbym też Autora o przedstawienie posiadanych informacji nt. trwałości samego rozpuszczalnika w zakresie wysokich prądów anodowych. Rysunek 16 dostarcza zaledwie częściowo tych informacji. Czy Autor wykonał analizy XPS dla pierwiastków innych niż węgiel i tworzących rozpuszczalnik DES, tj. tlenu, azotu i chloru lub widma niskorozdzielcze? Obecność azotu Autor zaobserwował nawet w analizie EDX, której wgłębnosc sięga kilku mikrometrów (str. 101). Stabilność rozpuszczalnika DES (trzeci z postawionych pod koniec rozprawy wniosków) jest w mojej ocenie nie potwierdzona, podczas gdy zanieczyszczenia powierzchniowe (mikrografie SEM) oraz obecność azotu w analizach EDX wręcz temu wnioskowi przeczą.
  7. Wprowadzając parametr Ra należy opisać sposób jego wyznaczenia. Jaką powierzchnię próbki wykorzystano do oceny tego parametru? Dla przykładu, chropowatość próbki szlifowanej na poziomie  $58.4 \pm 10.9$  nm (Rys. 29b) całkowicie nie koreluje z podziałką profilu chropowatości oraz z mikrografią SEM (Rys. 23b) a nawet obrazem makroskopowym (Rys. 17).
  8. Na str. 77 Autor pisze, że wyniki zmian potencjału korozyjnego są tożsame z zanikiem widocznych na powierzchni mikronierówności (...). Słowo „tożsame” nie jest tutaj właściwie użyte, gdyż potencjał korozyjny jest zależny przede wszystkim od parametrów danych równaniem Nernsta. Podobnie swobodnie Autor łączy zmierzoną wartość potencjału korozyjnego z cyt. „niską tendencją do korozji” (str. 83), wykazującą cyt. „dodatnią wartość”. Jedno jest funkcją termodynamiczną, a drugie parametrem kinetycznym. Zmiana potencjału może wynikać z pasywacji stopu, lecz również zmian aktywności reagentów czy temperatury.
  9. Przedstawienie wykresów zmian potencjału korozyjnego (Rys. 35 i dalej) w funkcji czasu jest mało czytelne i nieintuicyjne. Prosiłbym Autora o przedstawienie i krótkie przedyskutowanie tych zmian na wykresach, gdzie na osi X znajduje się gęstość prądu podczas polerowania a na osi Y potencjał korozyjny po 24 h ekspozycji lub odchylenie standardowe podczas zmian (ocena stabilności warstwy). Na jednym wykresie jako różne przebiegi można by umieścić badania dla próbek trawionych przy różnych temperaturach, znacznie ułatwiając możliwość ich porównania względem siebie. Analogiczna uwaga dotyczy zmian rezystancji polaryzacyjnej (Rys. 37 i dalej) czy też przedstawienie wykresu zmian potencjału wżerowania w funkcji gęstości prądu polerowania. Powyższe wyniki powinny być również przedstawione w postaci tabeli zbiorczej. Autor nie pisze nic o potencjale repasywacji, czy zróżnicowany proces trawienia wpływa na ten parametr?
  10. Autor wiąże selektywność utleniania określonych pierwiastków stopowych z temperaturą prowadzenia procesu polerowania elektrochemicznego (str. 89 i 92). Dlaczego prowadzenie procesu przy niższych temperaturach prowadzi do takich efektów? Osobiście, jako podstawową przyczynę selektywnego trawienia pierwiastków podczas polerowania elektrochemicznego rozpatrywałbym ich umiejscowienie w szeregu napięciowym. Pierwiastki bardziej szlachetne, tj. Ni i Mo ulegają trawieniu dopiero przy wyższych gęstościach prądu. Na str. 100 Autor relacjonuje nawet niską tendencję do trawienia Mo, lecz nie tłumaczy tego zjawiska.
  11. Autor sugeruje, że nikiel jest budulcem warstwy pasywnej (str. 68, 90, 119), co nie jest prawdą. Warstwa pasywna na powierzchni stali wysokostopowych zbudowana jest w szczególności z tlenków

i wodorotlenków chromu, żelaza i molibdenu (np. 10.1016/S0254-0584(00)00249-2, 10.1016/j.surfcoat.2004.10.113 i inne). Autor wykonał analizę XPS warstw pasywnych badanych stali, z których można wyciągnąć podobną konkluzję (dominujący udział Ni<sup>0</sup> w analizie).

12. Na str. 100 i 104 Autor wiąże większy udział Cr i Mo w warstwie pasywnej w porównaniu do składu nominalnego stali z większą odpornością korozyjną próbek polerowanych względem próbki referencyjnej. Jest to bardzo niefortunne stwierdzenie. Obserwacja ta dowodzi jedynie faktu wytworzenia warstwy pasywnej (która formuje się również na próbce referencyjnej) oraz faktu, że Cr i Mo w przeciwieństwie do Ni są jej budulcem.

Przedstawiona mi do recenzji praca, mimo iż obszerna w dane eksperymentalne i ciekawe wnioski, pisana jest miejscami z brakiem należytej dbałości o detale natury edytorskiej. Błędy te przysparzają czytelnikowi dużej trudności w poprawnym zrozumieniu uzyskanych, i bardzo interesujących wyników badań. Można by ich jednak łatwo uniknąć. Kilka z nich przedstawiam poniżej, nie prosząc jednak Autora o ustosunkowywanie się do nich:

1. Autor używa akronimów, np. DES, jeszcze przed ich zdefiniowaniem. Odradzam również stosowania akronimów w tytule pracy, szczególnie bez jego rozwinięcia w tym miejscu.
2. Autor używa licznych skrótów myślowych, niewłaściwych lub nie zdefiniowanych zwrotów, np.:
  - a. „(...) modyfikacją powierzchni stali jest zwiększenie jej odporności korozyjnej.” (wstęp)
  - b. Zwrot „wytrzymałość powierzchni” (str. 9) jest niejednoznaczny.
  - c. Autor pisze o mikroskopii skaningowej (str. 47) bez doprecyzowania, że chodzi o SEM – skaningową mikroskopię elektronową
  - d. Czym jest „potencjał przejścia anodowo-katodowego” (str. 84)
  - e. Nie ma czegoś takiego jak „odporność na polaryzację” (str. 87 i 88). Autor miał zapewne na myśli rezystancję polaryzacyjną. Podobnie niewłaściwym jest zwrot „rezystancja polaryzacji”. Autor zdefiniował nawet metodę liniowej rezystancji polaryzacyjnej (str. 36), lecz nie trzyma się jednolitej nomenklatury.
  - f. Rys. 7 ma opisywać wpływ Cr na odporność korozyjną, podczas gdy na osi Y przedstawiono grubość średnią utlenionej warstwy (czemu nie warstwy pasywnej?). Parametry te nie są analogami.
  - g. Autor zdaje się zamiennie stosować pojęcia „warstwy pasywnej” oraz „powierzchni stali” w opisie analiz XPS (str. 96, 98), gdzie wspomina dodatkowo o zubożeniu powierzchni stali w nikiel na skutek polerowania. Dalej, na str. 118 Autor pisze nawet o „zewnątrznej warstwie stali”.
3. Autor nie powinien opisywać zmian potencjału jako „od wartości ujemnych do dodatnich” (np. na str. 69, 76, 83, 87), gdyż wartość potencjału zależy od wybranej elektrody referencyjnej. Właściwszym jest określenie, wzrostu lub przesunięcia w kierunku wartości anodowych. Ponadto, opisując elektrodę referencyjną użytą w badaniach, Autor powinien był podać jej potencjał standardowy w warunkach prowadzenia pomiaru.
4. Właściwy akronim techniki wykorzystywanej w rozdziale 5.4 to ICP-AES, a nie AES-ICP
5. Dlaczego w analizie składu kąpielii techniką ICP-AES Autor przedstawia zmiany stosunki pierwiastków jako Fe:Cr i Fe:Ni, podczas gdy w opisie składu XPS warstwy pasywnej na powierzchni tych stali opisane są stosunki Cr:Fe i Ni:Fe. Jest to niepotrzebne utrudnienie dla czytelnika.



6. Rys. 62 i 63 nie zostały poprawnie edytowane, podczas gdy na Rys. 59-61 nie przetłumaczono opisów osi X na język polski.

Niestety Pan mgr inż. Marek Marczewski nie załączył wraz z manuskrytem rozprawy doktorskiej listy swoich osiągnięć naukowych i praktycznych. Z tego względu wspomnę jedynie o tych efektach pracy, które można znaleźć bezpośrednio w bazie danych Scopus. W momencie pisania recenzji jest on współautorem 7 publikacji notowanych w JCR, w tym jednej w której jest pierwszym autorem. Publikacja ta, przyjęta w periodyku Ochrona przed Korozją dotyczy zbliżonych do prezentowanych w dysertacji badań polaryzacji anodowej, tym razem stali 304. Zbliżonych badań dotyczą również trzy inne publikacje w tym samym czasopiśmie opublikowane w latach 2019-2022. Opisuje w nich inne rozpuszczalniki eutektyczne, zawierające kwas szczawiowy lub glikol etylenowy w miejsce glikolu propylenowego. Zastanawiające jest więc, dlaczego Autor nie zdecydował się na rozszerzenie manuskryptu o część ww. prac. Dwie pozostałe prace (przyjęte w Scientific Reports oraz Ceramics International) dotyczą elektroosadzania warstw w roztworach eutektycznych oraz bioaktywności warstw  $ZrO_2$  na stali 316L. Mimo umiarkowanego zasięgu periodyków, w których opublikowano wyniki badań, same badania należy uznać za wartościowe, a prezentowany obszar tematyczny za jednorodny.

Podsumowując swoją recenzję stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska mgr inż. Marka Marczewskiego, pt.: „Morfologia powierzchni stali nierdzewnej 316L polerowanej elektrochemicznie w cieczach DES jako zielonych rozpuszczalnikach” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668 z późn. zm.). Wobec powyższego, wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Marka Marczewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.