

Prof. dr hab. inż. Ewa Schab-Balcerzak

Zabrze, 30.10.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Kingi Kępskiej, pt.:

„New poly(3-hexylthiophene)-based materials for gas sensors and photovoltaic applications - design and synthesis”

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej z dnia 05.09.2024 r., zgodnie z Uchwałą Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej podjętą w dniu 05.07.2023 r.

Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską pani mgr inż. Kinga Kępska wykonała w Katedrze Fizykochemii i Technologii Polimerów na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, pod kierunkiem naukowym pana prof. dr hab. inż. Mieczysława Łapkowskiego i promotora pomocniczego pani dr hab. inż. Agnieszki Stolarczyk, prof. PŚ.

Badania podjęte w niniejszej pracy doktorskiej ukierunkowane są na syntezę nowych związków wielkocząsteczkowych posiadających zdolność do transportu ładunków elektrycznych w celu zastosowania ich do konstrukcji czujników dwutlenku azotu oraz ogniw fotowoltaicznych (PV) i tym samym wpisują się w obszar dynamicznie rozwijanej się dziedziny, jaką jest optoelektronika organiczna. Polimery, początkowo stosowane w elektronice tylko jako elementy konstrukcyjne i izolatory, stały się obecnie materiałem aktywnym w różnego rodzaju układach elektronicznych. Pomimo faktu, że dziś znanych jest już bardzo wiele polimerów elektroprzewodzących, to nadal otrzymanie nowych materiałów tego typu o kontrolowanych właściwościach, dostosowanych do zastosowań w konkretnych przyrządach jest istotnym kierunkiem badań budzącym szerokie zainteresowanie. Dlatego też tematykę recenzowanej dysertacji oceniam jako aktualną, zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i aplikacyjnego. Koncepcja opracowania nowych wielkocząsteczkowych związków elektroprzewodzących opierała się na syntezie kopolimerów szczepionych zawierających, jako łańcuch główny polimetylohydrosiloksan (PMHS), z łańcuchami bocznymi szeroko opisanego w literaturze

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych jest instytutem Polskiej Akademii Nauk



przedmiotu polimeru elektronodonorowego - poli(3-heksylofenu) (P3HT). Dodatkowo wprowadzono łańcuchy boczne poli(glikolu etylenowego) (PEG), albo grupy heksylowe lub dodecyłowe.

Przedłożona do oceny rozprawa ma układ klasyczny i liczy wraz z wykazem skrótów stosowanych i syntezowanych (ko)polimerów, ze spisem cytowanej literatury, rysunków, tabel, oraz materiałami uzupełniającymi - 175 stron. Praca podzielona jest na 5 głównych rozdziałów obejmujących cel pracy, przegląd literatury (51 stron), część eksperymentalną (11 stron), omówienie badań własnych (41 stron) oraz podsumowanie (3 strony). Praca zawiera ponadto wprowadzenie, streszczenie w j. polskim i angielskim, materiały dodatkowe oraz spis literatury, rysunków i tabel. Literatura przedmiotu, na którą powołuje się w swojej dysertacji Doktorantka zawiera 238 pozycji, pochodzących w większości z ostatnich 20 lat. Dysertacja napisana jest w języku angielskim i można się zastanawiać, dlaczego nie w j. polskim. Ogólnie bardzo dobrze oceniam rozprawę od strony redakcyjnej.

Do tematyki dysertacji Doktorantka wprowadza rozdziałem, wykazującym znaczenie polimerów skoniugowanych dla rozwoju nowoczesnych technologii. Następnie przedstawiła swoje cele badawcze, z których wynika, że pierwszym etapem pracy było zaplanowanie budowy chemicznej kopolimerów przewidzianych do syntezy, wybór optymalnej metody ich otrzymania, czyli syntezy P3HT oraz przyłączania jego łańcuchów z odpowiednią grupą funkcyjną do PMHS. Kolejnym etapem były prace eksperymentalne obejmujące syntezę zaprojektowanych (ko)polimerów, potwierdzenie ich budowy chemicznej, określenie masy molowej oraz analiza wpływu ich struktury na pracę wybranych urządzeń do wytworzenia, których je zastosowano, czyli na odpowiedź czujników do detekcji NO₂ oraz na parametry fotowoltaiczne ogniwo organicznych o heterozłączu objętościowym (BHJ).

Kolejny rozdział dysertacji to obszerny i dobrze przygotowany wstęp teoretyczny, stanowiący przegląd literatury dotyczącej zagadnień związanych z zakresem pracy doktorskiej. Znajdujemy tutaj podrozdziały przedstawiające typowe polimery skoniugowane ze wskazaniem na związki wielkocząsteczkowe zawierające pierścienie tiofenu, opis metod otrzymywania i wybranych właściwości poli(tiofenów) oraz ich pochodnych poli(3-alkilotiofenów) (P3ATs) z uwzględnieniem istotnego parametru, czyli ich regioregularności. Na podstawie przedstawionego przeglądu literatury Doktorantka wybrała do swoich badań, jako polimer przewodzący poli(3-heksylofenu) wraz ze sposobem jego syntezy metodą metatezy Grignarda (GRIM), zapewniającą otrzymanie P3HT o wysokim stopniu regioregularności (RR), a także dogodną do wprowadzania grup funkcyjnych. W związku z tym kolejne podrozdziały poświęcone są mechanizmowi GRIM syntezy poli(3-alkilotiofenów) ich oczyszczaniu i frakcjonowaniu oraz możliwościom otrzymania P3ATs z odpowiednimi grupami funkcyjnymi umożliwiającymi wbudowanie ich w różne

struktury kopolimerów. Następnie Doktorantka przedstawia ogólny sposób syntezy kopolimerów szczepionych, omawia polimery krzemoorganiczne z szerszym opisem poli(dimetylsiloksanów) i poly(metylohydroxiloksanu) (PMSH), stanowiących łańcuch główny zaprojektowanych do syntezy kopolimerów oraz reakcję hydroksylowania, którą stosuje do przyłączania łańcuchów P3HT oraz grup alkilowych do PMSH. Bardzo interesujący i adekwatny do zakresu pracy jest podrozdział prezentujący kopolimery blokowe i szczepione zawierające łańcuchy RR P3HT, z którego wynika, że jedynie kopolimery blokowe P3HT-b-PDMS opisano w literaturze i nie ma doniesień dotyczących polimerów szczepionych o architekturze zaprojektowanej do syntezy w ramach pracy doktorskiej, czyli zawierających PDMS z łańcuchami bocznymi P3HT. Rozdział opisujący wyznaczanie mas molowych polimerów można było zawęzić tylko do opisu metod stosowanych dla P3HT. Kolejne podrozdziały doktoratu dotyczą technik stosowanych do analizy budowy P3HT i polisiloksanów, czyli spektroskopii w podczerwieni i magnetycznego rezonansu jądrowego. W części literaturowej pracy pani Kinga Kępska umieściła dwa podrozdziały pokazujące zastosowanie (ko)polimerów elektroaktywnych w czujnikach NO₂ i w ogniwach fotowoltaicznych typu BHJ, czyli urządzeniach w których były testowane syntezowane (ko)polimery. Opis ogniw PV BHJ jest wyczerpujący, jeśli chodzi o zasadę ich działania, budowę i sposoby wyznaczania parametrów PV, czyli zastosowania pomiarów charakterystyk prądowo - napięciowych (I-V) i określenia wydajności konwersji padających fotonów na generowane elektrony tzw. zewnętrznej wydajności kwantowej (EQE), które to metody zastosowano w niniejszej pracy. W opisie zastosowania (ko)polimerów z P3HT i PCBM w ogniwach BHJ wskazane byłoby podanie w wielu miejscach parametrów PV, a przynajmniej sprawności ogniwa fotowoltaicznego (PCE), aby uniknąć mało mówiących określeń typu „*They exhibited slightly better performance*”, „*At 5% additive VOC of the solar cell was slightly increased, but J_{SC} was reduced which resulted in overall PCE decrease in comparison with P3HT:PCBM solar cells without the additive*”. Oczekiwane byłoby też podanie najwyższej wydajności ogniw BHJ, gdzie donorem jest P3HT a akceptorem PCBM. Nie wspomniano też tutaj o wpływie masy molowej P3HT, wygrzewania czy też grubości warstwy heterozłącza objętościowego na parametry PV, co też jest badane przez Doktorantkę. W podrozdziale dotyczącym czujników NO₂ zabrakło omówienia zarówno ich działania jak i budowy. Można było też tutaj przedstawić mechanizm działania czujników w przypadku polimerów P3HT.

W części eksperymentalnej dysertacji znajduje się opis (i) przeprowadzonych syntez polimerów P3HT nieregularnego i regioregularnego (RR), RR P3HT zakończonego grupami winylowymi (P3HTvin) oraz serii kopolimerów szczepionych, (ii) aparatury użytej do określenia budowy i mas molowych otrzymanych (ko)polimerów (NMR, FTIR, GPC i MALDI-TOF), analizy warstw aktywnych urządzeń (AFM) oraz (iii) sposobu wytwarzania i charakterystyki

czujników NO₂ i ogniw PV. Znajdujemy informację, że przygotowano ogniwa o powierzchni aktywnej 9 i 16 mm², ciekawa jestem gdzie zakupiono takie podłoża ITO.

Opis badań własnych Autorka podzieliła na dwie główne części, z których pierwsza jest poświęcona analizie budowy chemicznej zakupionych 3-heksyltiofenu, metakrylanu eteru metylowego poli(glikolu etylenowego) (PEGMA) i polisiloksanów (PMSH i poly(dimetylsiloksanu-co-metylohydroksiloksanu) (P(DMS-co-MHS))) oraz syntezowanych polimerów P3HT, P3HTvin i kopolimerów, a także wyznaczeniu mas molowych wybranych (ko)polimerów. W rozdziale tym Doktorska szczegółowo omawia widma NMR wydzielonych z frakcji chloroformowej (FC) nieregularnego P3HT (¹H i ¹³C NMR), regioregularnego P3HT (¹H NMR i HSQC) i RR P3HT z grupami winylowymi (¹H, ¹H-¹H COSY), kopolimerów PMHS-g-P3HT, P(DMS-co-MHS-g-P3HT, kopolimery PMHS-g-(P3HT:hex), PMHS-g-(P3HT:PEG) i PMHS-g-(P3HT:dodec) zawierające PMHS o niższej (390 g/mol) i wyższej masie molowej (1700-3200 g/mol), kopolimery P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT:dodec) i P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT:PEG) zawierające dwa rodzaje P3HT różniące się masą molową. W celu analizy budowy chemicznej P3HTvin FC, P(DMS-co-MHS), PMSH o różnych masach molowych, PEGMA, PMHS-g-P3HT, P(DMS-co-MHS)-g-P3HT, PMHS-g-P3HT, P(DMS-co-MHS-g-P3HT, kopolimerów PMHS-g-(P3HT:heks), PMHS-g-(P3HT:PEG) z PMHS o różnych masach molowych, kopolimery P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT:dodec) i P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT:PEG) różniących się masą molową P3HT, Doktorantka zastosowała również spektroskopię w podczerwieni. Masy molowe polimerów P3HT oszacowała Autorka na podstawie wyników GPC, MALDI-TOF i analizy grup końcowych z ¹H NMR. Z kolei masy molowe kopolimerów PMHS-g-P3HT, P(DMS-co-MHS-g-P3HT) wyznaczono stosując GPC. Opis analizy budowy syntezowanych (ko)polimerów zamyka krótki podrozdział podsumowujący uzyskane wyniki, czyli przedstawiający ustalany skład 11 syntezowanych kopolimerów, biorąc pod uwagę przyłączone do PMHS łańcuchy P3HT, PEG oraz grupy alkilowe. Kolejny podrozdział zatytułowany: charakterystyka spektroeletrochemiczne, jest wg mnie niepotrzebny, ponieważ zawiera jedynie stwierdzenie, że ten zakres badań był przedmiotem pracy doktorskiej Tomasza Jarosza. Tą informację można było umieścić na początku Rozdziału VIII wraz z podaniem faktu, że prezentowane kopolimery opisano w cytowanych w dysertacji publikacjach stanowiących odnośniki literaturowe 230, 232, 233, 234, których Doktorantka jest współautorką.

Druga część opisu badań własnych – Rozdział 8 dotyczy zastosowania wybranych kopolimerów w czujnikach NO₂ i ogniwach fotowoltaicznych BHJ. Doktorantka wyjaśnia, dlaczego korzystne może być zastosowanie syntezowych kopolimerów biorąc pod uwagę obecność polisiloksanu, ale tylko w czujnikach gazu, bez odniesienia do ogniw PV i nie wyjaśnia znaczenia wprowadzanych grup PEG czy alkilowych. Do wytworzenia czujników jak podano w

podrozdziale 6.4, zastosowano 6 kopolimerów oraz polimery P3HT, jak to wynika z podrozdziału 8.1., bez uzasadnienia wyboru takich kopolimerów. Opis wyników dotyczący badania skonstruowanych rezystancyjnych czujników NO₂ Autorka rozpoczyna od analizy AFM otrzymanych warstw z (ko)polimerów, dla których określano współczynniki chropowatości RMS. Analizie poddano także wpływ sposobu przygotowania warstw na ich morfologię, czyli porównano warstwy przygotowane metodą powlekania obrotowego z chloroformu i wylewania z roztworu chlorobenzenu. Pojawia się pytanie, czy w różny sposób przygotowane warstwy były tej samej grubości? Na pierwszym etapie badań pomiary działania czujników prowadzono w atmosferze azotu, początkowo w temperaturze pokojowej uzyskując długie czasy odtruwania, co spowodowało konieczność podwyższenia temperatury do 50 i 100 °C. W badaniach uwzględniono też wpływ stężenia NO₂. Charakterystyki wytworzonych detektorów biorąc pod uwagę zarówno czas odpowiedzi, jak i odtruwania przedstawiła Doktorantka w formie wykresów. Nie wyjaśniono znaczenia symbolu RH pojawiającego się na wykresach. Szkoda, że nie zebrano danych w postaci tabeli, co ułatwiłoby analizę i porównanie z informacjami literaturowymi przedstawionymi w podrozdziale 5.1., a tak mamy bardzo ogólne określenia, że odpowiedzi urządzeń były niższe, wyższe czy najwyższe - bez danych liczbowych, np.: „*In general, responses of graft copolymers were higher than responses of pristine P3HT, both regioregular and nonregular. RR P3HT showed the lowest response, whereas PMHS-g (P3HT;PEG) 3 copolymer (with long P3HT chains and long polysiloxane backbone) the highest.*”, a istotne jest o ile wyższe czy niższe. Dokładniejsze informacje z podaniem kilku konkretnych odpowiedzi czujników znajdujemy w opisie kolejnego etapu badań dotyczącym już wybranych dwóch kopolimerów. Można się zastanawiać, dlaczego nie badano wpływu stężenia NO₂ na odpowiedź czujników zawierających kopolimery PMHS-g-(P3HT:PEG) 1 i PMHS-g-(P3HT:PEG) 3 tak jak to zrobiono dla pozostałych kopolimerów, dla których też przeprowadzono pomiary w 100°C. Do dalszych badań mających na celu analizę pracy czujników w atmosferze powietrza wybrano dwa kopolimery P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT;PEG) 2 i P(DMS-co-MHS)-g-(P3HT;dodec) 2. Przeprowadzono badania stosując dodatkowo promieniowanie UV analizując także wpływ czasu jego działania (1, 7 i 14 dni) na odpowiedź detektorów. Znaczny spadek odpowiedzi czujników (z 145 do 18.5% po 14 dniach) wyjaśniono poprzez analizę morfologii warstwy kopolimeru za pomocą AFM-u. Rozdział ten kończy zbyt ogólne posumowanie, a badane kopolimery umożliwiają określenie wpływu masy molowej przyłączonych makrocząsteczek P3HT, zastąpienia łańcuchów PEG grupami docelowymi, wprowadzenia segmentów dimetylosiloksanu do łańcucha głównego, a także metody

przygotowania warstwy na odpowiedzi wytworzonych czujników z uwzględnieniem stężenia NO_2 w badanych temperaturach.

Opis wyników dotyczących zastosowania w PV ogniwach BHJ pięciu (ko)polimerów, wyboru których jednak nie uzasadniono, stanowi podrozdział 8.2. Wytworzono ogniwa, jak to wynika z części eksperymentalnej, o strukturze ITO/PEDOT:PSS/(ko)polimer:PCBM/LiCl/Al. Parametry fotowoltaiczne ogniw zebrano w tabeli S.2 umieszczonej w materiałach dodatkowych, a są to dane bardziej istotne niż prezentowane przez Doktorantkę charakterystyki prądowo-napięciowe, z których są wyznaczane. We wspomnianej tabeli wartości parametrów PV ogniw podane są ze zbyt dużą dokładnością. Z tekstu pracy można się domyślać, że wyznaczano średnie sprawności ogniw, ale nie podano, z jakiej liczby testowanych urządzeń. Nasuwa się pytanie, czy zaprezentowane wyniki w tabeli S.2 są wartościami średnimi uzyskanymi z pewnej liczby testowanych ogniw, czy najlepszymi wynikami dla danego typu ogniwa? Niezrozumiałe jest oznaczenie „u” pojawiające się przy parametrach PV w tabeli S.2. Jeżeli są to wartości odchylenia standardowego to zwykle podaje się je ze znakiem \pm . Ponadto dane z tabeli nie zawsze korelują z danymi w tekście rozdziału. Np.: na stronie 107 podano, że średnie PCE ogniwa wynosi 2.35% i najlepszym wynikiem jest $\text{PCE}=2.42\%$, w tabeli S.2 nie ma takich danych. W omawianej tabeli należało podać parametry PV ogniw z P(DMS-co-MHS)-g-P3HT. Niezrozumiała jest pojawiająca się w tabeli S.2 w nawiasie liczba 1, 2 i 3 np.: P3HT FCH (1). Czym różnią się ogniwa zawierające np.: P3HT FCH (2) i P3HT FCH (1)? Ponadto, wcześniej stosowane było oznaczenie FC. Doktorantka stwierdza, że nie obserwowano wpływu rozmiaru powierzchni ogniwa na jego działanie, ale nie przedstawia żadnych danych na podstawie, których wysnuwa taki wniosek. W części eksperymentalnej pracy jest mowa o tym, że przeprowadzono optymalizację stosunku wagowego (ko)polimeru do PCBM testując układy: 1:1, 3:2, 2:1 i najlepsze wyniki otrzymano dla układu (ko)polimer:PCBM 3:2, jednak też nie przedstawiono parametrów PV pokazujących tę zależność. W przypadku PV ogniw BHJ istotny jest proces wygrzewania warstwy złącza objętościowego, zarówno dla uzyskania wysokiej sprawności ogniw jak i ich stabilności, i tego typu badania podjęto także w ramach niniejszej pracy. Autorka analizuje wpływ wygrzewania struktury ITO/PEDOT:PSS/(ko)polimer:PCBM (w 100°C przez 5 min.) jak i całego ogniwa, czyli po naniesieniu warstw LiCl i Al też w 100°C ale też przy różnym czasie wygrzewania (10, 30 i 60 min) oraz zastosowania wygrzewania przed (w 100°C przez 5 min) i po nałożeniu elektrody (100°C przez 10, 30 i 60 min). Ogniwa charakteryzowano także po upływie określonego czasu (1, 2, 4 i 8 dni) od ich wytworzenia. Szkoda, że nie podano parametrów PV dla ogniw z PMHS-g-P3HT i z P(DMS-co-MHS)-g-P3HT wygrzewanych tak jak pozostałe w 100°C przez 5 min. W celu wyjaśnienia wpływu wygrzewania i zastosowania polisiloksanu Doktorantka analizuje

morfologię warstw (ko)polimer: PCBM na podstawie obrazów z AFM-u. Omawia też widma UV-vis warstw (ko)polimerów poddanych wygrzewaniu w 100°C przez 5 min. Obserwowane poszerzenie pasma absorpcji P3HT w kierunku niższych energii po wygrzewaniu tłumaczy Autorka wzrostem stopnia krystaliczności, jednak nie były prowadzone badania dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego aby to potwierdzić, więc w takim wypadku należało zacytować odpowiednie pozycje literaturowe. Ogniwo zawierające P3HT można traktować jako urządzenie wzorcowe i z zaprezentowanych danych wynika, że zastosowanie kopolimerów powoduje obniżenie sprawności ogniw. Przy czym urządzenia zawierające kopolimery charakteryzowały się stabilnością sprawności, w przeciwieństwie do ogniw z P3HT, które wykazywały ok. 10% obniżenie PCE po upływie 8 dni. Zaskakujące jest, że ogniwa z kopolimerem PMHS-g-(P3HT;hex) 1, czyli z mniejszą liczbą jednostek tiofenowych osiągały ok. 25-27% wyższą sprawność w stosunku do urządzenia z PMHS-g-(P3HT;hex) 2 oraz PMHS-g-P3HT. Widma EQE zaprezentowane na rys. 8.17, też potwierdzają tę tendencję. Jednak wyniki te, czyli wyznaczone z charakterystyk J-V i widma EQE, nie korelują z danymi z tabeli 8.3, proszę o wyjaśnienie. Kolejne pytanie - dlaczego pokazane w tabeli 8.3 parametry PV wybranych ogniw nie są zgodne z tabelą S.2? Np. w tabeli S.2. ogniwa z P3HT (2) wygrzewanego przez nałożeniem aluminium gęstość prądu zwarcia wynosi 6,9 mA/cm², napięcie obwodu otwartego 0,57 V, współczynnik wypełnienia 0,59, a PCE 2,36%, z kolei wg tabeli 8.3 wymienione parametry wynoszą odpowiednio 6,887 mA/cm², 0,576 V, 0,609 i 2,46%? Czy Doktorantka jest pewna, że tytuł tabeli 8.3 jest prawidłowy? Autorka na podstawie obrazów AFM warstw heterozłącza objętościowego stwierdza, że wprowadzenie łańcuchów polisiloksanu winno ułatwiać transport ekscytonów jak i elektronów oraz dziur do elektrod. Jednakże najlepszymi parametrami PV charakteryzują się ogniwa zawierające mieszaninę P3HT z PCBM. Przyczyny niższej PCE ogniw z kopolimerami Doktorantka szuka w grubości warstw, twierdząc, że cieńsze warstwy powodują pogorszenie sprawności ogniw BHJ. Można się zastawiać czy to jest jedyną przyczyną. Oczywiście grubość warstwy aktywnej w ogniwach BHJ odgrywa ważną rolę w wydajności absorpcji światła, tworzenia ekscytonów i dysocjacji na wolne ładunki i jest parametrem wpływającym na wydajnością konwersji energii, ale zwiększenie grubości może mieć też niekorzystny wpływ. Zabrakło tutaj szerszego komentarza dotyczącego wpływu grubości warstwy heterozłącza objętościowego na działanie ogniw popartego danymi literaturowymi.

Po lekturze rozdziału Podsumowanie i wnioski, można mieć niedosyt odnośnie wykazania wpływu architektury kopolimerów z uwzględnieniem masy molowej łańcuchów głównego i bocznych P3HT czy też obecności grup PEG oraz alkilowych na działanie czujników NO₂ i ogniw BHJ z uwzględnieniem konkretnych danych liczbowych w miejsce stosowanych ogólnych określeń.

Przechodząc do podsumowania, stwierdzam, że zawarte w recenzji pytania i komentarze nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej, której założone cele zostały osiągnięte. Realizując pracę doktorską mgr inż. Kinga Kępska wykazała się biegłością w zakresie syntezy organicznej, co pozwoliło na otrzymanie (ko)polimerów o zaprojektowanej strukturze i określeniu ich budowy chemicznej oraz mas molowych na podstawie odpowiednio dobranych metod badawczych. Ponadto podjęła się analizy parametrów pracy urządzeń, w których testowano otrzymane przez Doktorantkę (ko)polimery. Recenzowana rozprawa doktorska, wpisuje się aktualny nurt badań obejmujący opracowanie nowych materiałów półprzewodzących i przedstawione wyniki zawierają elementy nowości naukowej. Na podstawie powyższego stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji dysertacja spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm), w związku z czym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej o dopuszczenie pani mgr. inż. Kingi Kępskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Schab-Balczuk