

Dr hab. inż. Andrzej Tadeusz Plichta, prof. uczelni
Politechnika Warszawska Wydział Chemiczny
Katedra Chemii i Technologii Polimerów
ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa

RECENZJA

osiągnięć naukowych **dr inż. Róży Szweda**,
w szczególności osiągnięcia, stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego p.t.:
**„Rozwój metodologii syntezy i charakterystyki abiotycznych (makro)cząsteczek
o kontrolowanej strukturze pierwszorzędowej”**

Recenzja przygotowana na zlecenie Pani prof. dr hab. inż. Doroty Neugebauer – Przewodniczącej Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej w związku z Uchwałą Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej nr 8/2023 z dnia 15 marca 2023 r.

Recenzję sporządziłem zgodnie z przepisami dotyczącymi postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego, a w szczególności art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z późniejszymi zmianami oraz Regulaminu w zakresie nadania stopnia doktora habilitowanego zawartego w Uchwale nr 19/2022 Senatu Politechniki Śląskiej z dnia 25 kwietnia 2022 r.

Recenzję przygotowałem na podstawie kompletu dokumentów habilitacyjnych dostarczonego w wersji elektronicznej, przygotowanego zgodnie z wymaganiami Rady Doskonałości Naukowej, wchodzącego w skład wniosku o wszczęcie postępowania w sprawie nadania stopnia, zawierającego m.in.:

- wniosek Kandydatki,
- dane wnioskodawcy,
- autoreferat Kandydatki,
- wykaz osiągnięć naukowych Kandydatki wraz z danymi naukometrycznymi,
- oświadczenia współautorów o wkładzie w przygotowanie publikacji,
- kopię dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia naukowego doktora.

1. Podstawowe dane o kandydatce

Pani dr inż. Róża Szweda ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach w 2009 roku uzyskując tytuł magistra inżyniera na podstawie pracy pt. „Badania degradacji wielkocząsteczkowego poliglicydotu”. Stopień doktora nauk chemicznych w dyscyplinie Chemia uzyskała na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w 2015 roku broniąc z wyróżnieniem rozprawę pt. „Macierze polimerowo-peptydowe do detekcji enzymów proteolitycznych”. Promotorem pracy była Pani prof. dr hab. Barbara Trzebicka. W latach 2009-2017 Pani dr inż. Szweda była zatrudniona w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk w Zabrze na stanowisku asystenta (2009-2015) oraz adiunkta (2015-2017). W okresie 2015-2019 była zatrudniona w Institute Charles Sadron, The National Center for Scientific Research w Strasbourgu (Francja) na stanowisku *post-doc*, a przez 3 kwartały roku 2019 pracowała w Université de Strasbourg, CNRS, Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (Francja) jako kierownik projektu badawczego. Od 2019 roku do chwili obecnej Pan dr inż. Róża Szweda zatrudniona jest w Sieci Badawczej

Łukasiewicz - PORT Polskim Ośrodkiem Rozwoju Technologii we Wrocławiu jako Lider Zespołu Badawczego Funkcjonalnych Makrocząsteczek.

2. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Jako osiągnięcie habilitacyjne dr inż. Róża Szweda przedstawiła cykl **11** powiązanych tematycznie prac, w tym **6** (oznaczonych **H1, H3, H4, H6-H8**) oryginalnych artykułów naukowych, opublikowanych w latach 2017-2023 w zagranicznych czasopismach z listy *Journal Citation Reports (JCR)*, **3** (oznaczone **H2, H5 i H11**) artykuły przeglądowe opublikowane w latach 2020-2022, z czego **2** w zagranicznych czasopismach z listy *JCR* i **1** w krajowym czasopiśmie poświęconym sprawom archiwalnym spoza listy *JCR*, **1** rozdział w monografii zagranicznej (2022, **H10**) oraz **1** europejskie zgłoszenie patentowe (2021, **H9**).

Badania habilitantki dotyczyły syntezy, modyfikacji chemicznej i oceny właściwości strukturalnych oraz chemicznych kopolimerów i kooligomerów o kontrolowanej sekwencji merów w liniowych łańcuchach. Tego typu układy zbudowane z jednostek zróżnicowanych strukturalnie mogą stanowić nośnik informacji zapisanej w systemie binarnym (zero-jedynkowym). Zaletami polimerowych nośników informacji w porównaniu z tradycyjnymi metodami przechowywania danych z wykorzystaniem systemów elektronicznych są nieporównywalnie mniejsza energochłonność, większa trwałość oraz znacznie mniejsze rozmiary zaproponowanego rozwiązania. Ponadto, możliwe jest „wymazywanie” zapisu lub jego zmiana albo wywołanie. Jednakże, problemem może okazać się odczyt danych w nośnika polimerowego, który jest dłuższy niż w przypadku klasycznych rozwiązań i często zwińczone całkowitym zniszczeniem nośnika. Dodatkowo, polimery o kontrolowanej strukturze pierwszorzędowej w zależności od sekwencji jednostek powtarzalnych mogą wykazywać różne właściwości fizyczne, w tym termiczne, a także stanowić układy wrażliwe na bodźce zewnętrzne. Odpowiednie zaprojektowanie struktury i sekwencji merów w tych układach może pozwolić wytwarzać struktury wyższych rzędów, które z kolei mogą być wykorzystane do konstruowania (syntezy) urządzeń lub maszyn molekularnych.

Najwartościowsze w osiągnięciu habilitacyjnym są wyniki prac oryginalnych, w których ukazane są starannie zaplanowane i konsekwentnie przeprowadzone badania nad syntezą kopolimerów zawierających zakodowane dane w oparciu o różnego typu klasy polimerów i reakcji chemicznych, w tym w szczególności „edytowalne” systemy danych. Omówienie dorobku zaczęło jednak od prac przeglądowych.

Praca przeglądowa **H5** stanowi dobry, nieco popularnonaukowy wstęp do prowadzonych przez Habilitantkę badań nad kodowaniem danych z wykorzystaniem sekwencyjnej syntezy łańcuchów polimerowych. We wstępie opisano na czym polega kodowanie informacji w DNA – naturalnym nośniku danych oraz jakie są wady i zalety tego materiału i tej metody względem systemów elektronicznych. Dalej wyjaśniono jak zapis danych można implementować na syntetyczne materiały polimerowe, a także w jaki sposób można te dane odczytywać. Przedstawiono zalety typowych polimerów jako potencjalnych nośników informacji, wskazując na ich trwałość w różnych warunkach środowiskowych. Autorka przedstawiła także, inne zastosowania polimerów o kontrolowanej sekwencji merów (SCP, ang. *Sequence Controlled Polymer*), np. jako znaczniki chemiczne w celu zwalczania fałszerstwa, znaczniki m.in. w materiałach polimerowych, implantach wewnątrzgałkowych oraz w modelach implantów *in vivo*. Cenne jest porównanie parametrów przechowywania danych dla różnych nośników: dysków twardych, DNA i syntetycznych SCP zamieszczone w ostatnim rozdziale. Dużo szersze oraz dogłębne omówienie tego typu polimerów, ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości i zastosowań można znaleźć w rozdziale **H10** (tytuł rozdziału: *Polimery syntetyczne z dokładnie regulowanymi sekwencjami monomerów: właściwości i nowe zastosowania*). Przedstawiono podział strategii i metod polimeryzacji, które mogą

doprowadzić do SCP. Dalej opisano bardziej szczegółowo metody polimeryzacji bez nośnika, z nośnikiem rozpuszczalnym i nośnikiem stałym, a także konkretne systemy syntetyczne (monomery, reakcje sprzęgania, etapy pośrednie) prowadzące do otrzymania odpowiednich produktów. Prezentując właściwości SCP habilitantka omówiła wpływ sekwencji na właściwości mechaniczne (a w zasadzie termiczne), optyczne i elektronowe, biodegradację, zdolność samoorganizacji w różne nanostruktury zarówno w stopie jak i w rozpuszczalnikach oraz możliwość samoorganizacji w obrębie pojedynczych cząsteczek w struktury wyższych rzędów. Poprzez sekwencję merów wpływać można na krystaliczność układów, w tym temperaturę krystalizacji i topnienia. W przypadku SCP o skoniugowanych wiązaniach podwójnych sekwencja wpływa na profile absorpcji i emisji, a wartości przerwy HOMO–LUMO obliczone na podstawie absorbancji zmieniały się w zależności od sekwencji oligomeru. Kontrola sekwencji umożliwia precyzyjne dostrojenie parametrów biodegradacji materiałów, co jest niezbędne w niektórych zastosowaniach biomedycznych, takich jak systemy dostarczania leków lub inżynieria tkankowa. Dla serii peptoidów o podobnym składzie, ale różnych sekwencjach wykazano, że dolna krytyczna temperatura roztworu jest silnie zależna od sekwencji. Dalej przedstawiono zastosowania dla tego typu materiałów. Oprócz wspomnianego już poprzednio przechowywania i przekazywania danych, wskazano możliwości wykorzystania do zwalczania fałszerstw, układów katalitycznych, inteligentnych systemów dostarczania leków, powierzchni biobójczych, ale także w fotowoltaice i mikroelektronice czy tworzeniu blend oraz kompozytów polimerowych.

W dwóch kolejnych pracach przeglądowych (**H2** i **H11**) habilitantka opisała polimerowe hydrożele i SCP wrażliwe na bodźce. **H11** zawiera przegląd sensorów hydrożelowych. Jako pierwsze omówione zostały układy naturalne, w tym materiały na bazie białek, do których należą kolagen, elastyna, fibryna, żelatyna i fibroina skóry oraz materiały oparte na polisacharydach, takich jak glikozaminoglikany, alginiany i chitozan. Takie hydrożele nadają się do większości zastosowań biologicznych ze względu na ich biokompatybilność i bioaktywność. W razie potrzeby właściwości hydrożeli naturalnych można korygować poprzez modyfikację chemiczną lub wytwarzanie polimerów kompozytowych z hydrożelami syntetycznymi. Naturalne hydrożele zostały wykorzystane do wykrywania glukozy, dopaminy, przeciwutleniaczy, pH, materiałów wybuchowych, biomarkerów i sygnałów ciała za pomocą elektrochemicznych i optycznych metod wykrywania. Łącznie opisano 28 przykładów hydrożeli naturalnych. Wśród hydrożeli syntetycznych zaprezentowane zostały (ko)polimery zawierające mery kwasów (met)akrylowych i ich estrów, w tym zawierających trzeciorzędowe ugrupowania aminowe, glikolu etylenowego, (met)akryloamidów, czy segmenty poli(alkoholu winylowego). Biorąc pod uwagę szeroki zakres cech, które można osiągnąć poprzez dostrojenie zarówno na poziomie molekularnym, jak i strukturalnym oraz zdolność reagowania na bodźce zewnętrzne, takie jak temperatura, światło, pH, siła jonowa i obecność (bio)cząsteczek, syntetyczne hydrożele zostały stać się ważnymi materiałami do projektowania i budowy czujników i biosensorów w różnych dziedzinach zastosowań, co przedstawiono na 20 przykładach. Ostatnią część pracy poświęcono omówieniu wrażliwych na bodźce 12 foldamerów, które mają zwiększoną stabilność strukturalną poprzez wewnątrzcząsteczkowe sieciowanie łańcuchów bocznych. Wśród foldamerów można zidentyfikować makrocząsteczki na bazie amidów (α - γ -peptydy, peptoidy, oligomoczniki i oligoaryle). Duża biblioteka motywów strukturalnych foldamerów umożliwia projektowanie olbrzymiej liczby funkcji i zastosowań, w tym detekcję. Dzięki kontroli strukturalnej mogą one wiązać komplementarne cząsteczki gości, np. kationy, aniony lub cząsteczki nienaładowane, przez co można stosować je w wykrywaniu jonów metali, materiałów wybuchowych, biomarkerów, pH czy fruktozy. Publikacja przeglądowa **H2** dotyczy wrażliwych na bodźce systemów stosowanych do detekcji, opartych na oligomerach o rdzeniu aryloacetylenowym ze sprzężonym układem

wiązań π i stanowi rozszerzenie pracy **H11** oraz świetny wstęp do pracy oryginalnej **H1**. Oligomery te mogą reagować na zmiany środowiska (biegunowość, temperatura), obecność substancji chemicznych (aminokwasy, sacharydy, jony), makrocząsteczki (białka, polimery), bakterii oraz służyć do monitorowania procesów, przy czym mogą być wykorzystywane jako selektywne sondy do wykrywania poszczególnych analitów w mieszaninie. Dobrze zdefiniowane sprzężone aryloacetyleny można uzyskać za pomocą iteracyjnych protokołów chemicznych, które pozwalają uzyskać pełną precyzję struktury i definicję sekwencji, jednak problem stanowią wysoka skala i wydajność. Wrażliwość, w tym czułość, selektywność i specyficzność są silnie związane ze strukturą oligomeru, dlatego niewielka różnica w budowie, nawet o jedną jednostkę, może spowodować utratę selektywności i czułości czujnika. W pracy omówiono aż 50 przykładów takich układów. Dodatkowo, Habilitantka wskazała i przedyskutowała istotne aspekty syntezy SCP istotne z punktu widzenia dalszych prac oryginalnych. W syntezie iteracyjnej bardzo ważne jest osiągnięcie wysokich wydajności każdego z etapów, ponieważ całkowita wydajność syntezy jest równa iloczynowi rzeczywistej wydajności każdego z nich, a zatem jej wartość dramatycznie spada wraz z liczbą kroków. Wydajność etapowa stanowi zatem ograniczenie, które wpływa na stopień polimeryzacji. Nawet przy wysokich wydajnościach poszczególnych etapów (np. 95%) po kilkudziesięciu cyklach syntezy całkowita wydajność procesu może spaść do kilku procent, przy czym należy pamiętać, że na wartość tę wpływają także straty związane z izolacją półproduktów.

Praca oryginalna **H1** dotyczy syntezy tetramerów o strukturze aryloacetylenów bez podstawników przy pierścieniu aromatycznym, zbudowanych z pierścieni benzytowych i pirydynowych. Ze względu na niewielką rozpuszczalność tych oligomerów, Habilitantka zastosowała metodę syntezy na nośniku rozpuszczalnym. W tym celu otrzymała metodą kontrolowanej polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu dwa dobrze zdefiniowane i sfunkcjonalizowane nośniki polistyrenowe o niewielkim stopniu dyspersyjności i różnych masach molowych. Na nośnikach przeprowadziła 4 sekwencyjne procesy przedłużania łańcucha sprzężonymi układami aromatycznymi o 4 jednostki powtarzalne o różnym składzie i kolejności merów. Sekwencje te uzyskano poprzez iteracyjne sprzęganie Sonogashiry i protodesililację, przy użyciu bloków budulcowych na bazie benzyłu i pirydyny. Należy zaznaczyć, że zgodnie z danymi zamieszczonymi w dodatku do artykułu wydajności sprzęgania Sonogashiry poszczególnych etapów były średnie lub niskie, w związku z czym wydajność końcowa produktów zawierała się w granicach 2 – 11%. Każdy etap syntezy był monitorowany, a struktura (pół)produktów potwierdzona typowymi metodami spektrometrycznymi (1D i 2D COSY NMR, FTIR, UV-VIS) oraz metodą chromatografii żelowej. Produkty końcowe zostały scharakteryzowane metodami spektrometrii masowej, przy czym metoda ESI MS tetramerów po odłączeniu od nośnika potwierdziła jednorodną budowę tych związków, jednak pomiar był utrudniony przez nieznaczną rozpuszczalność w mediach organicznych. Z drugiej strony analizy metodą MALDI ToF oligomerów na nośniku wykazały zakładaną strukturę (bez oznaczenia sekwencji) kopolimerów blokowych. Podsumowując, Habilitantka wykazała, że synteza i zastosowanie zdefiniowanego nośnika polistyrenowego otwiera możliwość syntezy sekwencyjnej nierozpuszczalnych oligomerów na bazie aryloacetylenów.

W kolejnych pracach oryginalnych **H3** i **H4** Habilitantka zaprezentowała intrygujące wyniki badań nad syntezą, charakteryzacją i modyfikacją SCP na szkieletie polifosforanowym, które można wykorzystać w technologii kodowania, zapisu i przechowywania (dość dużych ilości) danych. W **H3** sekwencyjne polifosfodiestry o charakterze binarnym stanowiły kodowane polianiony, które otrzymano metodą zautomatyzowanej syntezy wielostopniowej na nośniku stałym z wykorzystaniem dwóch monomerów fosforamidynowych z zablokowaną dimetoksytrytylem grupą hydroksylową. Monomery zawierające podstawnik propylowy lub 2,2-dimetylopropylowy zostały zdefiniowane w systemie binarnym, odpowiednio, jako 0- oraz 1-bitowe i posłużyły do syntezy

dwóch homopolimerów oraz 16 różnych sekwencji 10-bajtowych zawierających po 80 merów kodujących oraz dodatkową cząsteczkę tyminy jako chromoforu do zidentyfikowania początku łańcucha. W celu dalszego uporządkowania informacji poszczególne polimery zostały umieszczone w oddzielnych warstwach metodą „warstwa po warstwie” z wykorzystaniem niezakodowanych polijonów, w związku z czym uzyskano dwuwymiarową matrycę danych (o łącznej pojemności 160 bajtów). Stwierdzono, że stosując pomiędzy warstwami anionowego, zakodowanego polifosforanu trzy warstwy bez informacji: polikation-polianion-polikation uzyskuje się lepsze parametry morfologiczne matrycy niż w przypadku pojedynczej warstwy polikationu. Wykazano, że zaproponowane rozwiązanie może prowadzić do materiałów do przechowywania o niespotykanej dotąd gęstości zapisu danych. W przypadku cyfrowych układów „warstwa po warstwie” dekodowanie można osiągnąć za pomocą metod spektrometrii masowej z profilowaniem głębokości, takich jak spektrometria masowa jonów wtórnych z czasem przelotu (TOF-SIMS), czy desorpcyjna jonizacja przez elektrorozpylanie (DESI). Zaprezentowane w **H3** wyniki po raz pierwszy pokazują, że zakodowana materia abiotyczna może być zorganizowana morfologicznie w precyzyjne nanostruktury. W pracy **H4** Habilitantka opisuje 1-bajtowe, binarne układy sekwencyjne na bazie oligofosfodiestrów, przy czym w badaniach wykorzystano 4 różne jednostki powtarzalne, które posiadały jako grupę boczną (1) o-nitrobenzyl i (2) 4,5-dimetoksy-o-nitrobenzyl oraz (3) p-nitrobenzyl połączone wiązaniem eterowym z merem i (4) triizopropyllosilyl zabezpieczający grupę hydroksylową meru. Monomery (1) i (2) posiadają różne masy molowe, dlatego stanowią bity „0” i „1”, które można dekodować metodą spektrometrii masowej. Jednakże w obu merach grupy o-nitrobenzylowe są wrażliwe na działanie promieniowania UV, w wyniku czego następuje rozpad wiązania eterowego z uwolnieniem fragmentów aromatycznych tak, że pozostały oligomer składa się z jednakowych merów (homopolimer). Proces ten ukazuje, że informacja binarna zawarta w SCP może zostać wymazana! Odwrotny proces zaproponowano dla pary monomerów (1) i (3), które posiadają taką samą masę molową, ale inną strukturę chemiczną (izomeria podstawieniowa), w związku z czym są odczytywane przez MS jako niezakodowane. Jednakże, po naświetleniu promieniowaniem, wrażliwe na UV mery (1) ulegają rozpadowi, a mery (3) pozostają niezmienione. W ten sposób informacja binarna zostaje „wywołana” i może zostać odczytana. W kolejnej strategii wykorzystano monomery (1), (3) i (4) uzyskując oktamer o zakodowanej informacji pierwotnej [monomery (1) i (3) – „1”, monomer (4) – „0”], które po naświetleniu uległy częściowemu przekształceniu [monomer (1) → (4), czyli „1” → „0”], w związku z czym zapisana informacja uległa zmianie. W publikacji scharakteryzowano strukturalnie i przedstawiono dekodowanie wszystkich struktur pierwotnych i wtórnych za pomocą tandemowej spektrometrii mas. Poza oczywistymi zastosowaniami tych układów do systemów przechowywania danych, w tym 2D z możliwością wymazania określonych obszarów oraz systemów przeciwdziałających fałszerstwom, trzeba zauważyć, że w przypadku zdolności takich oligomerów do generowania struktur wyższych rzędów, zmiana za pomocą czynnika zewnętrznego struktury pierwszorzędowej zapewne pociągnie za sobą zmiany w strukturach wyższych rzędów.

W pracy **H6** opisano SCP o strukturze oligo(alkoksyamino fosfodiestrów) i oligo(amidotriazoli), jednakże przede wszystkim te ostatnie należy zaliczyć do dorobku Habilitantki, zgodnie z jej oświadczeniem oraz oświadczeniami współautorów. Kandydatka prowadziła syntezę w oparciu o reakcje cykloaddycji 1,3-dipolarnej oraz amidyzacji wobec karbodiimidów. Produkty reakcji były weryfikowane z wykorzystaniem techniki tandemowej spektrometrii masowej, przy czym Habilitantka dostrzegła, że rozpad merów zawierających w łańcuchu głównym fragment oligomeru oksyetylenowego przebiega w wielu centrach wiązań eterowych, co uniemożliwiało prosty odczyt zapisanej sekwencji za pomocą MS/MS. W związku z tym zamieniła w strukturze monomerów/polimerów oligomer PEG na łańcuch alkilowy

o analogicznej sumarycznej liczbie atomów w łańcuchu. Taki zabieg pozwolił uniknąć zbędnych informacji w MS/MS, takich jak wielokrotne serie jonów produktów lub liczne piki przypisane do tego samego fragmentu przy różnych stanach ładunku i umożliwił prosty odczyt zakodowanych sekwencji. Przygotowanie docelowych struktur wymagało jedynie minimalnych zmian w początkowych protokołach syntezy. Tandemowa spektrometria masowa wydaje się zatem kluczową techniką nie tylko do sekwencjonowania, ale także do projektowania cyfrowo kodowanych makrocząsteczek.

Ostatni typ syntezowanych i badanych SCP opisany w publikacjach **H7** i **H8** oraz międzynarodowym zgłoszeniu patentowym **H9** opiera się na poliuretanowej strukturze pierwszorzędowej. W pierwszej z prac otrzymywano sekwencyjne tetrauretany, gdzie dwie reakcje prowadzące do przyłączenia monomeru są prowadzone w jednym naczyniu. Stwierdzono, że w odpowiednich warunkach reakcji aktywny węglan reaguje ilościowo z dostarczoną porcją aminoalkoholu, pomimo obecności powstającego produktu ubocznego N-hydroksysukcynoimidu. Taki protokół syntetyczny pozwolił zwiększyć wydajność produktów. Kodowanie oligomerów odbywało się za pomocą stosowania trzech różnych aminoalkoholi. Stwierdzono, że rodzaj i sekwencja monomerów, nawet w przypadku krótkich oligomerów na niebagatelny wpływ na zjawisko dichroizmu kołowego (w przypadku stosowania monomeru z centrum chiralnym), temperatury przemian fazowych, a także temperatury charakterystyczne i przebieg rozkładu termicznego. Są to ważne odkrycia z punktu widzenia inżynierii materiałowej oraz makromolekularnej. Podsumowując, zaletami prezentowanej strategii są m.in.: zmniejszone zużycie rozpuszczalników, brak użycia stałego nośnika, prosty protokół oczyszczania, wyższa wydajność reakcji oraz wysoka czystość otrzymanych oligourethanów, co sprawia, że metoda jest bardziej ekologiczna. W **H8** Habilitantka wykazała, że podczas syntezy sekwencyjnych tetrauretanów, poza prowadzeniem obu etapów przyłączenia jednego meru w jednym naczyniu, możliwe jest przeprowadzenie w ten sposób 4 cykli, co prowadzi do otrzymania finalnego tetrameru w jednym naczyniu. Poza zwiększeniem wydajności procesu syntezy do 90%, z 50% w przypadku metody z **H7** i 30% dla typowego procesu, uzyskano olbrzymią redukcję zużycia rozpuszczalników. O ile synteza oligomerów o wyższym stopniu polimeryzacji wg zaprezentowanego protokołu nie przynosi dobrych rezultatów, to metodę tę można wykorzystać do syntezy dłuższych oligomerów/polimerów prowadząc proces oczyszczania półproduktów np. co 4 cykle. Zaproponowane rozwiązanie jest na tyle atrakcyjne aplikacyjnie/komercyjnie, że stało się przedmiotem międzynarodowego zgłoszenia patentowego **H9**.

Wyniki badań nad otrzymywaniem, modyfikacją i organizacją w struktury dwuwymiarowe SCP opartych na oligoaryloacetylenach, polifosforanach, oligo(amidotriazolach) i oligourethanach oraz ich wykorzystanie do zapisu i dekodowania informacji binarnych przedstawione w osiągnięciu habilitacyjnym, stanowią znaczący wkład do wiedzy w dyscyplinie nauki chemiczne w zakresie metodologii syntezy i charakterystyki abiotycznych (makro)cząsteczek o kontrolowanej strukturze pierwszorzędowej. Chociaż szerokie, praktyczne zastosowanie takich metod wydaje się jeszcze dość odległe, głównie z powodu niewystarczających wydajności produktów (w przypadku niektórych układów), braku powszechnej infrastruktury do kodowania (syntezy) i odczytywania (analizy) zawartych informacji oraz potrzeby rozwinięcia nieniszczących metod odczytu, badania Habilitantki wnoszą szereg istotnych, nowych elementów, przede wszystkim w zakresie:

- zaprojektowania i zastosowania rozpuszczalnej matrycy polistyrenowej umożliwiającej syntezę nierozpuszczalnych oligomerów oligoaryloacetylenowych, jak również ich analizę, w tym dekodowanie,

- opracowania metody zwielokrotnienia ilości informacji binarnej zapisanej w pojedynczych łańcuchach SCP opartych na polifosforanach poprzez zastosowanie sekwencyjnej organizacji monowarstw polifosforanów wykorzystując technikę „warstwa po warstwie”,
- opracowania szeregu zakodowanych 1-bajtowych oligomerów fosforanowych zdolnych do wymazania, wywołania lub zmiany zapianej w ich strukturze pierwszorzędowej informacji, poprzez reakcje fotochemiczne,
- wykorzystania tandemowej spektrometrii masowej jako cennego narzędzia wspomagającego syntezę SCP o zapisanych danych, w tym zaproponowania i zweryfikowania zmian strukturalnych w obrębie jednostki powtarzalnej na taką, która może zostać bezbłędnie odkodowana za pomocą techniki MS/MS,
- istotnego zoptymalizowania syntezy sekwencyjnych tetrauretanów, pozwalającego na przeprowadzenie obu etapów jednego cyklu, a następnie 4 pełnych cykli w jednym naczyniu, bez wydzielania półproduktów, co pozwala na zwiększenie wydajności procesu syntezy do 90%, z 30% oraz na olbrzymią redukcję zużycia rozpuszczalników,
- opisanie i przedstawienie funkcjonalności i zastosowań SCP nie tylko w zakresie kodowania danych, ale także jako materiały do optoelektroniki, sensory, materiały do przechowywania informacji, znaczniki w celu ochrony przed fałszerstwem, transportery molekularne czy peptydomimetyki, ze względu na możliwość wpływania na właściwości optyczne, zdolność do agregacji, podatność na fragmentację za pomocą tandemowej spektrometrii mas, temperatury przemian fazowych, a także mechanizm degradacji.

Wszystkie publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego są wieloautorskie (2-6 autorów). Dr inż. Róża Szweda jest pierwszym lub korespondencyjnym autorem, odpowiednio, w 2 i 5 publikacjach oraz pierwszym autorem w zgłoszeniu patentowym (udział 70%). Zarówno deklarowany przez Habilitantkę wkład autorski, jak również oświadczenia współautorów, świadczą jednoznacznie o istotnym lub dominującym jej udziale we wszystkich pracach. Zostały one opublikowane w większości w czasopismach zagranicznych: *Polymers* (H11) i *Processes* (H2) wydawanych przez największą na świecie oficynę wydawniczą czasopism *open access* MDPI (*Multidisciplinary Digital Publishing Institute*), a także *Polymer Chemistry* (H7) i *Chemical Communications* (H1) wydawanych przez RSC (*Royal Society of Chemistry*), *Angewandte Chemie International Edition* (H3) i rozdział w monografii *Macromolecular Engineering* (H10) wydawanych przez Wiley, *European Polymer Journal* (H8) wydawanym przez Elsevier, *Journal of American Chemical Society for Mass Spectrometry* (H6) wydawanym przez ACS (*American Chemical Society*), a także w *Nature Communications* (H4). Jedną z publikacji została wydrukowana w polskim czasopiśmie (spoza listy JCR) *Archeion* (H5) wydawanym przez Naczelną Radę Archiwów Państwowych. Należy podkreślić, że *Angewandte Chemie International Edition* i *Nature Communications* należą do grupy najwyżej cenionych i najczęściej cytowanych czasopism z listy JCR, a ich współczynniki oddziaływania plasują się w pierwszym decylnym (JIF > 90 percentyla). Sumaryczny IF wszystkich dziesięciu artykułów wynosi 63,074, co daje wysoką średnią wartość IF = 6,307 na artykuł. Wśród publikacji z cyklu habilitacyjnego w 4 nie występują współautorzy z tytułem profesora lub naukowi pracownicy samodzielni, w tym zatrudnieni na stanowisku profesora uczelni/institutu. Sumaryczny IF dla tych publikacji wynosi 13,865, co daje średnią wartość IF = 3,466 na artykuł. Poziom naukowy wszystkich publikacji jest wysoki lub bardzo wysoki. Można z przekonaniem stwierdzić, że omawiane prace przyczyniły się do poszerzenia wiedzy o syntezie i charakterystyce abiotycznych (makro)cząsteczek o kontrolowanej strukturze pierwszorzędowej.

3. Ocena całości dorobku naukowego

Dotychczasowa działalność naukowa i zawodowa dr inż. Róży Szweda związana była z badaniami nad polimerami funkcjonalnymi o kontrolowanej strukturze lub/i sekwencji. Praca w czterech różnych instytucjach naukowo-badawczych, w tym dwóch zagranicznych pozwoliła jej na zdobycie bardzo bogatego doświadczenia w prowadzeniu różnorodnych badań podstawowych nad syntezą termoczułych polimerów, w tym koniugatów polimer-lek i polimer-peptyd oraz układów typu SCP.

▪ *przed doktoratem*

W okresie 2009-2015, podczas prowadzenia badań do swojej pracy doktorskiej w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu głównymi obszarami zainteresowań naukowych dr inż. Róży Szweda były badania nad koniugatami peptydów z polimerami stosowanych głównie do wykrywania enzymów. Efektem tych prac, oprócz doktoratu, był udział w opublikowaniu 6 artykułów oryginalnych w (bardzo) dobrych czasopismach oraz jednej pracy przeglądowej w *Progress in Polymer Science* (IF=31.281), a także po kilkanaście ustnych i posterowych wystąpień konferencyjnych. Brała udział w realizacji 3 projektów naukowo-badawczych, z których 1 kierowała.

▪ *po doktoracie*

Po doktoracie dr inż. Róża Szweda doskonalila swoje kwalifikacje naukowe i zawodowe w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu na stanowisku adiunkta, we francuskich jednostkach naukowych: Institute Charles Sadron na stanowisku *post-doc* oraz Université de Strasbourg jako kierownik projektu badawczego, a później aż do chwili obecnej w Sieci Badawczej Łukasiewicz - PORT we Wrocławiu. Uczestniczyła w realizacji 1 krajowego i 2 zagranicznych projektów badawczych, w tym w 1 jako kierownik. W chwili obecnej realizuje 7 projektów naukowo-badawczych, z czego w 6 pełni rolę kierownika (m.in. SONATA, SONATA BIS, OPUS LAP, LIDER, dotacja celowa z Centrum Łukasiewicz). Do najistotniejszych dokonań Habilitantki w tym okresie, należy zaliczyć udział w badaniach nad:

- syntezą i charakterystyką nanoosników doksorubicyny i met-enkefaliny na bazie inteligentnych, termoreaktywnych koniugatów polimer-lek,
- syntezą i charakteryzacją termoreaktywnych koniugatów poli[metakrylanu trioksyetylenowego] z peptydem otrzymanych metodą szczepienia radiacyjnego,
- degradowanymi nanocząstkami polimerowymi otrzymywanymi poprzez agregację termoreaktywnych polimerów i reakcje typu „click”,
- abiotycznymi oligomerami sekwencyjnymi opisanymi w osiągnięciu naukowym.

W sumie, na przedstawiony do oceny dorobek naukowy dr inż. Róży Szweda składają się 23 publikacje w czasopismach wyszczególnionych w bazie JCR, w tym 16 po uzyskaniu stopnia doktora (dorobek po doktoracie podany w nawiasie i zaznaczony **pogrubioną czcionką**), 1 (1) artykuł w innym czasopiśmie, 1 (1) rozdział w monografii. Sumaryczny IF wszystkich prac wynosi 177,188 (121,951). Liczba cytowań (na podstawie dokumentacji habilitacyjnej) wg bazy *Web of Science* wynosi 465, a bez autocytowań 424, natomiast Indeks Hirscha 13. Na dzień 22 maja 2023 liczba cytowań wg bazy *Web of Science* wynosi 484 (265), a bez autocytowań 451 (252), natomiast dane wg bazy *Scopus* są nieco wyższe i wynoszą odpowiednio: liczba cytowań 500 (269), bez autocytowań 464 (253), Indeks Hirscha 14. Pokazuje to, że publikacje te cieszą się dużą poczytnością i stale mają wpływ na kształtowanie wiedzy w przedmiotowej dziedzinie. Wyliczona liczba punktów ministerialnych na podstawie danych zamieszczonych przez Habilitantkę w dokumentacji wynosi

2620 (2010) i jest ona wysoka, przewyższająca formalne wymagania wobec kandydatów do stopnia doktora habilitowanego. Należy zwrócić uwagę, że wśród 16 publikacji uzyskanych po doktoracie jedynie 8 stanowią publikacje spoza cyklu habilitacyjnego, przy czym 2 z nich są pracami przeglądowymi. Dorobek naukowy Habilitantki uzupełnia współautorstwo dużej liczby: 29 (16) wystąpień ustnych i 43 (25) posterów zaprezentowanych na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. Ponadto, wygłosiła 13 wykładów na zaproszenie instytucji naukowych, z czego 6 stanowiły instytucje zagraniczne (Francja, Szwecja, Izrael, Niemcy, Belgia). Świadczy to o dużej rozpoznawalności Habilitantki oraz prowadzonych przez nią badań w krajowym międzynarodowym środowisku naukowym.

Pomimo, że niektóre badania prowadzone przez dr inż. Różę Szweda zarówno przed jak i po doktoracie posiadają dość duży aspekt aplikacyjny to Habilitantka ma w swoim dorobku tylko 1 (1) zgłoszenie patentowe (międzynarodowe).

4. Inne elementy istotne dla oceny kandydata do stopnia doktora habilitowanego

a. działalność dydaktyczna

Działalność dydaktyczna dr inż. Róży Szweda w przeciwieństwie do dorobku naukowego jest dość uboga. Habilitantka deklaruje, że wygłosiła wykład dla studentów Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w grudniu 2022, pt. „Polimery o zdefiniowanej sekwencji merów. Jak nowe materiały mogą być wykorzystane w praktyce?” oraz prowadzi kurs „Biomateriały” w ramach studiów magisterskich dla studentów Politechniki Wrocławskiej (2021-2022).

Ponadto współprowadziła 6 prac magisterskich studentów Politechniki Wrocławskiej, Uniwersytetu Wrocławskiego oraz Politechniki Śląskiej. Pełniła także funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim realizowanym w Centrum Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk, a obecnie pełni taką rolę w przypadku dwóch doktoratów realizowanych w Politechnice Wrocławskiej oraz jest zaangażowana jako opiekun w dwóch doktoratach wdrożeniowych (w jednym z nich jest także promotorem pomocniczym).

b. staże i wizyty naukowe

Dr inż. Róża Szweda odbyła szereg staży naukowych w kraju i zagranicą zarówno przed jak i po uzyskaniu stopnia doktora, w tym na Uniwersytecie Gdańskim (luty 2011: analiza poziomu proteiny 3 w surowicy krwi), Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (kilka wizyt 2012-2014: analiza peptydów za pomocą ESI-MS), Bułgarskiej Akademii Nauk (listopad 2012: Funkcjonalizowane hydrofilowe i amfilowe polimery do budowy nowych materiałów), Uniwersytecie Jagiellońskim (kilka wizyt 2012-2013: analizy powierzchni peptydów za pomocąToF-SIMS), Saarland University (Niemcy, czerwiec 2018: synteza mikromacierzy DNA z wykorzystaniem systemu fotokontrolowanej syntezy), Uniwersytecie w Genewie (Szwajcaria, czerwiec 2021: charakterystyka polimerów, przygotowanie wspólnego projektu), Uniwersytecie w Strasbourgu (Francja, lipiec 2022: badania aktywności katalitycznej kompleksów rodu z oligokarbaminianami o zdefiniowanej sekwencji). Ponadto odbyła staż podoktorski w Institute Charles Sardon (Francja, 2015-2019).

c. współpraca naukowa

Współpraca naukowa Habilitantki, z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowo-badawczymi, jest różnorodna, intensywna i owocna. W poprzednim punkcie wymieniono jednostki, w które wizytowała wraz z tematyką badawczą, w ramach której prowadzi współpracę. Ponadto duża część badań do recenzowanego osiągnięcia naukowego została wykonana w jednostkach zagranicznych, z którymi współpracowała.

Ponadto dr inż. Róża Szweda współpracowała i nadal współpracuje w ramach wspólnych i zleconych projektów z sektorem gospodarczym: Roche (Niemcy), Syngenta (Szwajcaria),

Glucoactive (Polska: opracowanie narzędzia do detekcji związków endokrynnych w wodzie z wykorzystaniem SCP), BioCam (Polska: opracowanie narzędzi do endoskopii kapsułkowej).

d. działalność popularyzująca naukę

Habilitantka jest dość mocno zaangażowana w popularyzację nauki. Przykładami są: udział w konkursie „Uniwersiada” na najciekawszy projekt badawczy dzieci ze szkół podstawowych, podcast dla radia Luz popularyzujący naukę o polimerach, prowadzenie warsztatów naukowych dla dzieci w ramach Aktywnej Małej Szkoły we Wrocławiu, udział w programie Ministerstwa Edukacji i Nauki „Platforma Nauki” – przygotowanie filmu o realizowanej tematyce badawczej, udział w warsztatach naukowych „Fete de La Science” promujących naukę o polimerach (Strasbourg), wystawca na dorocznej imprezie „Dni Nauki” organizowanej przez Urząd Miasta w Zabrzu. Ponadto, przygotowanie i opublikowanie artykułu **H5** w czasopiśmie *Archeion* dedykowanym archiwistom, stanowi popularyzację nauk chemicznych w gronie humanistów.

e. działalność organizacyjna

Habilitantka w dokumentacji nie wykazała żadnej działalności organizacyjnej w miejscu zatrudnienia, jednakże pełniła rolę członka komitetu organizacyjnego *Symposium on Advanced Technologies and Materials* w dniach 6 - 9 Września 2022 we Wrocławiu. Ponadto, jest członkiem Polskiego Towarzystwa Chemicznego oraz *American Chemical Society*.

f. nagrody i wyróżnienia

Dr inż. Róża Szweda uzyskała 5 nagród za prezentacje posterowe, w tym 2 podczas *Symposium on Advanced Technologies and Materials* (Wrocław, 2022) oraz po 1 podczas *18th National Symposium Polymers*, (Bułgaria, 2016), *Silesian Meetings on Polymer Materials POLYMAT* (Zabrze, 2016), *58th Zjazd PTChem* (Gdańsk, 2015). Zdobyła także nagrodę w konkursie „30 Kreatywnych Wrocławia” nadana przez Prezydenta Miasta Wrocław (2020), stypendium Ministra dla młodych wybitnych naukowców (2020-2023), stypendium DOKTORIS nagrodzone przez Marszałka Śląska i Uniwersytet Śląski (2013-2014), „Dotację dla młodych naukowców 2011” przyznaną przez Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN (2011-2012), stypendia projakościowe dla najlepszych doktorantów (2012-2014) oraz stypendium RFSD 2, przyznane przez sieć centrów doskonałości Bio-Tech-Med Silesia (2009- 2011).

Dowodem uznania pozycji naukowej dr inż. Róży Szweda jest powierzenie jej recenzji kilkunastu manuskryptów przesłanych do druku w renomowanych zagranicznych czasopismach naukowych m.in. *ACS Omega*, *Applied Science*, *Bioengineering*, *Biomolecules*, *Biosensors*, *Chemistry – an Asian Journal*, *European Polymer Journal*, *Journal of Applied Polymer Science*, *Journal of Molecular Liquids*, *Macromolecular Rapid Communication*, *Polymer*, *Sensors*.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Po starannej analizie przedstawionych do recenzji materiałów stwierdzam, że dr inż. Róża Szweda:

- 1) posiada stopień naukowy doktora uzyskany na podstawie przepisów obowiązujących w polskim systemie prawa,
- 2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki chemiczne w zakresie syntezy i charakterystyki abiotycznych (makro)cząsteczek o kontrolowanej strukturze pierwszorzędowej, w tym:
 - a) cykl 9 powiązanych tematycznie publikacji zamieszczonych w większości (8) w renomowanych czasopismach zagranicznych oraz 1 zgłoszenie patentowe,
 - b) 1 rozdział w monografii wydanej przez wydawnictwo, które jest ujęte w wykazie sporządzonym przez Ministerstwo Edukacji i Nauki,
- 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w wielu uczelniach i instytucjach naukowych w kraju i za granicą, przy czym za najważniejsze aktywności uznać należy

zatrudnienie w Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze, w Institute Charles Sadron, The National Center for Scientific Research w Strasbourgu (Francja), w Université de Strasbourg, CNRS, Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (Francja) oraz w Sieci Badawczej Łukasiewicz - PORT Polskim Ośrodku Rozwoju Technologii we Wrocławiu. Publikacje w dorobku naukowym Kandydatki są afiliowane do wszystkich wymienionych instytucji.

Ponadto, dr inż. Róża Szweda jest rozpoznawanym w krajowym i międzynarodowym środowisku naukowym specjalistą w zakresie badań nad polimerami z kontrolowaną sekwencją merów. Wykazuje dużą aktywność we wszystkich obszarach działalności właściwej pracownikom nauki, przy czym znacząco dominująca nad działalnością dydaktyczną i organizacyjną jest działalność naukowa.

Stwierdzam, że dr inż. Róża Szweda spełnia wszystkie wymagania, stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego przez art. 219 ust. 1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) wobec czego wniosek o nadanie jej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne jest uzasadniony i zyskał moje poparcie.

Podpisano odręcznie przez autora