

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krawczyk  
Wydział Chemiczny Politechniki Warszawskiej  
00-664 Warszawa, Noakowskiego 3

Warszawa, 2023.05.18.

**Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego oraz osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego Pani dr Anny Bojanowskiej-Czajki.**

**Tytuł osiągnięcia będącego podstawą postępowania habilitacyjnego:  
Wykorzystanie promieniowania jonizującego do rozkładu zanieczyszczeń organicznych w wodzie i innych matrycach naturalnych**

**1. Podstawowe dane o Habilitantce.**

**Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** jest absolwentką Wydziału Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Dyplom magistra chemii uzyskała w 1999 roku po obronie pracy magisterskiej zatytułowanej „Wpływ octanu n-butylu na kinetykę elektroredukcji jonów Zn(II) w wodnych roztworach NaClO<sub>4</sub>”.

Dyplom doktora nauk chemicznych, w zakresie chemii, uzyskała w dniu 20.06.2008 roku uchwałą Rady Naukowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, po obronie rozprawy doktorskiej pt. „Analityczne badania produktów radiolitycznej degradacji wybranych pestycydów MCOA i karbendazymu”. Promotorem pracy doktorskiej był Pan prof. dr hab. Marek Trojanowicz.

W latach 2009-2021 **Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** była adiunktem w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej, a od 01.01.2022 jest meteorologiem w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie.

**2. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego**

Praca habilitacyjna dotyczy bardzo ważnego z punktu widzenia ochrony środowiska wykorzystania promieniowania jonizującego do rozkładu zanieczyszczeń w wodzie. Stosowane obecnie metody przemysłowego oczyszczania wody często nie pozwalają na uzyskanie całkowitego rozkładu substancji, których działanie na organizmy żywe nie jest do końca określone. W ostatnich latach pojawiły się nowe metody rozkładu stabilnych związków i zanieczyszczeń z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego

(promieniowanie gamma i rentgenowskie) oraz promieniowania korpuskularnego (przyspieszone elektrony o wysokiej energii). Metoda ta jest atrakcyjna ze względu na wysokie stężenie rodników i innych utleniaczy. Przedłożony do recenzji dorobek naukowy **Pani dr Anny Bojanowskiej-Czajki** jest bardzo wartościowy pod względem naukowym i praktycznym. Praca ma charakter kompleksowy i charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem naukowym. Dorobek Habilitantki zawiera wiedzę z zakresu oddziaływania promieniowania jonizującego na związki chemiczne zawarte w roztworze wodnym, a uzyskane w pracy wyniki mogą posłużyć do opracowania skutecznej metody ich redukcji.

Rozprawa habilitacyjna obejmuje 10 oryginalnych publikacji, w których udział Habilitantki jest dominujący. Przedstawione w niej wyniki badań są bardzo ważne dla rozwoju nowoczesnych metod rozkładu substancji, o niskim stężeniu, które występują w wodzie. Uzyskane wyniki mają charakter innowacji naukowych i stanowią istotny wkład w badanie zjawisk zachodzących w promieniowaniu jonizującym. Z drugiej strony wyniki mogą być wykorzystane w praktyce przemysłowej.

Celem prac, które przeprowadziła **Pani dr Anna Bojanowska – Czajka**, w ramach przygotowywania habilitacji, było określenie możliwości zastosowania promieniowania elektromagnetycznego (promieniowanie gamma emitowane m.in. przez izotop  $^{60}\text{CoO}$ ) i promieniowania korpuskularnego (przyspieszona wiązka elektronów o wysokich energiach) do rozkładu wybranych organicznych zanieczyszczeń w roztworach wodnych. Badania zostały przeprowadzone dla związków z grupy pestycydów (chlorfenwinfos – H1, H2, - karbamazepina CBM, ibuprofen IBU - H5, H6), parathion - H4) oraz dla wybranych farmaceutyków i związków zaburzających pracę układu hormonalnego człowieka (diklofenak DCF (H5, H6 i H8), karbamazepina CBM (H5, H6), sertraliny SER i citalopramu CIT, H10 oraz bisfenol A BPA (H10)). Chlorfenwinfos i paration były powszechnie stosowanymi insektydami, które ze względu na dużą toksyczność w wielu krajach zostały zakazane, ale ich stężenie w zasobach wodnych cały czas pozostaje na wysokim poziomie. Karbendazym jest jednym z najpopularniejszych środków ochrony roślin stosowanych do ochrony przed grzybami. Pozostałe związki są składnikami farmaceutyków.

**Pani dr Anna Bojanowska - Czajka** wybrała te związki, ponieważ pojawiają się one w środowisku naturalnym i coraz więcej doniesień literaturowych świadczy o ich negatywnym wpływie na organizmy żywe.

**Pani dr Anna Bojanowska – Czajka** określiła również wpływ obecność innych, powszechnie występujących w rzeczywistych roztworach wodnych, związków, które mogą powodować zmniejszenie stężenia rodników, na przebieg procesów zachodzących pod wpływem promieniowania  $\gamma$  i wiązki elektronów. Bardzo ważną rzeczą było uzupełnienie badań wydajności procesu o pomiar toksyczności i cytotoksyczności badanych roztworów zarówno przed jak i po

działaniu promieniowania jonizacyjnego, co pozwoliło już na etapie badań wstępnych wnioskować o potencjalnych możliwościach zastosowania tych procesów na szerszą skalę. Wzrost toksyczności jest zjawiskiem niepożądanym i dyskwalifikuje proces w przypadku zastosowań praktycznych.

Dla badanych związków określono wpływ na wydajność rozkładu wielu czynników, m.in. stężenia początkowego, pH roztworu, wielkości dawki promieniowania, szybkości dawkowania a także obecności substancji, które potencjalnie w środowisku naturalnym mogą konkurować w reakcjach z rodnikami. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań, **Habilitantka** stwierdziła, że technologie radiacyjne, w tym szczególnie wiązka elektronów, pozwalają uzyskać zadowalające rezultaty w degradacji zanieczyszczeń organicznych w wodzie. Uzyskane dane eksperymentalne dostarczyły wielu nowych niepublikowanych wcześniej informacji dotyczących zastosowania technologii radiacyjnych na potrzeby ochrony środowiska, w szczególności do oczyszczania wód i ścieków. Dodatkowe wspomaganie chemiczne, poprzez dodatek np. ozonu, pozwala znacznie obniżyć wielkość dawki niezbędnej do uzyskania całkowitego rozkładu.

W przeglądowej pracy **H9 Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** przedstawiła główne zagrożenia środowiska, które wynikają ze zwiększenia zanieczyszczeń organicznych powodujących zaburzenia układu endokrynnego, do których należą farmaceutyki i związki o budowie zbliżonej do naturalnych hormonów. Za główne źródło obecności farmaceutyków w środowisku uznaje się oczyszczalnie ścieków, z których pozostałości leków nie są całkowicie usuwane oraz przemysł, gospodarstwa rolne i szpitale. **Habilitantka** przedstawiła, że zaawansowane procesy utleniania/redukcji (AOP/R) są coraz częściej stosowane, jako drugi stopień oczyszczania wody po konwencjonalnym oczyszczaniu ścieków. Metoda ta jest skuteczna w procesie usuwania biodegradowalnych zanieczyszczeń organicznych o niskim stężeniu. W publikacji **Habilitantka** przedstawia możliwości aplikacyjne wykorzystania promieniowania jonizującego do degradacji wybranych zanieczyszczeń endokrynologicznych w wodzie i ściekach. Wyniki dotyczące zastosowania technologii radiacyjnych, przedstawionych w tym artykule, potwierdzają możliwość wykorzystania promieniowania gamma i wiązki elektronów w celu uzyskania zadowalającego rozkładu szkodliwych związków i zmniejszenia toksyczności. Wyjątkową zaletą, w stosunku do innych metod, jest możliwość równoczesnej degradacji zanieczyszczeń na drodze utleniania i redukcji i stosunkowo krótki czas procesu.

W pracy **H1 Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** zastosowała technologie radiacyjne do rozkładu wybranych związków z różnych klas pestycydów, w tym fungicyd imidazolowy (karbendazym) i fosforoorganiczny pestycyd (chlorfenwinfos). Za pomocą technik: HPLC z UV/VIS i detekcji fluorometrycznej, chromatografii jonowej i metod LC/MS zbadała skuteczność rozkładu badanych związków w różnych warunkach napromieniowania oraz zidentyfikowała produkty ich rozkładu. Bardzo ważnym elementem tej pracy było monitorowanie zmian toksyczności w wyniku oddziaływania promieniowania z badanymi roztworami. Pomiarów te **Habilitantka** prowadziła przy użyciu testu bioluminescencji Microtox i testu Daphtokit.

Ważnym wynikiem tych badań jest stwierdzenie, że wartość pH roztworu, zawierającego karbendazym, nie ma wpływu na przebieg procesu. **Habilitantka** uzyskała również dobra korelację wyników eksperymentu rozkładu karbendazymu z wynikami modelowania kinetycznego. Zastosowanie do monitoringu toksyczności pestycydu i produktów jego rozkładu komórek białaczki ludzkiej pozwoliło stwierdzić, że badania toksykologiczne roztworów przed i po napromieniowaniu są niezbędnym uzupełnieniem analizy chemicznej.

Ważnym osiągnięciem **Pani dr Anny Bojanowskiej – Czajki** jest wykazanie w pracy **H2**, że promieniowanie  $\gamma$  ze źródła  $^{60}\text{Co}$  może być zastosowane do rozkładu pestycydu fosforoorganicznego tj. chlorfenwinfosu oraz, że rozkład z użyciem tego promieniowania nie powoduje powstawania nieorganicznych fosforanów. Niestety produkty rozkładu chlorfenwinfosu powodują wzrost toksyczności wobec bakterii bioluminescencyjnych *Vibrio fischeri* (w teście Microtox). Można ją zredukować stosując wyższą dawkę promieniowania. Wyniki badań jeszcze raz potwierdził konieczność monitorowania procesów rozkładu organicznych zanieczyszczeń w wodzie i odpadach.

Wyniki badań **H3 Pani dr Anny Bojanowskiej - Czajki** rozkładu karbendazym, w syntetycznych roztworach wodnych i ściekach przemysłowych uzyskane za pomocą promieniowania  $\gamma$  pozwoliły stwierdzić, że prowadząc procesy radiolityczne konieczna jest ścisła kontrola toksyczności i cytotoxyczności zarówno roztworów przed jak i po naświetlanie. W pracy zastosowano pionierską metodę, z użyciem ludzkich komórek białaczkowych.

**Pani dr Anna Bojanowska - Czajka** zastosowała promieniowanie  $\gamma$  do oczyszczanie rzeczywistych próbek ścieków pochodzących z krajowej produkcji **H3**. Głównymi składnikami organicznymi badanych odpadów powstających w procesie produkcji były 2-aminobenzimidazol, 2-hydroksybenzimidazol i karbendazym. Stwierdzono także obecność dużej liczby innych niezidentyfikowanych składników. Napromieniowanie surowych, nierozcieńczonych, odpadów dawką 50 kGy spowodowało spadek zawartości głównych zanieczyszczeń jedynie o 20%. Aby zoptymalizować proces należy przeprowadzić bardziej szczegółowe badania, uwzględniające chemiczne wspomaganie procesu radiacyjnego w celu zwiększenia wydajności rozkładu dla zastosowanej dawki promieniowania. Jednym z najprostszych sposobów na obniżenie dawki było rozcieńczenie ścieków. Dwudziestokrotne rozcieńczenie ścieków i poddanie ich działaniu wiązki elektronów umożliwiło uzyskanie całkowitej degradacji karbendazymu, 90% degradacji 2-hydroksybenzimidazolu i 98 % degradacji 2-aminobenzimidazolu (dawka promieniowania 26 kGy). Podany przykład zastosowania metody radiolitycznej do rozkładu karbendazymu w odpadach przemysłowych wskazuje na możliwość technologicznych zastosowań opracowanej metody, zwłaszcza, gdy promieniowanie gamma zostanie zastąpione przez wiązkę przyspieszonych elektronów, co wiąże się ze znacznym skróceniem przebiegu procesu.

**Pani dr Anna Bojanowska - Czajka** w swoich pracach zastosowała hybrydową metodę łączącą działanie promieniowania oraz ozonu wprowadzanego do oczyszczanego roztworu w trakcie lub

przed procesem napromieniowania (promieniowanie  $\gamma$  ze źródła  $^{60}\text{Co}$ ) **H4**. W badaniach zastosowano paration, który podobnie jak CVF należy do pestycydów fosforoorganicznych. W pracy przedstawione są wyniki badań dotyczących czynników, które wpływają na rozkład parationu oraz powstawanie i rozkład głównych produktów ubocznych. Zbadano wpływ wielkości dawki promieniowania, długość czasu ozonowania i obecności tzw. „wyłapywaczy” rodników. **Habilitantka** stwierdziła, że najbardziej wydajne jest promieniowanie  $\gamma$  połączone z krótkim okresem ozonowania. Ozonowanie pozwoliło na obniżenie dawki promieniowania z 4 do 1 kGy. Rozkład parationu za pomocą promieniowania  $\gamma$  wydaje się być atrakcyjną alternatywą dla innych opracowanych metod AOP do rozkładu parationu.

W czasie badań rozkładu diklofenaku (DCF) **H5**, za pomocą promieniowania  $\gamma$ , **Habilitantka** określiła wpływ wielkości pochłoniętej dawki promieniowania gamma, a także obecności wybranych związków, które powodują zmniejszenie stężenia rodników na przebieg procesu. Obecność tych związków, o stężeniu ok. 50 mg/L, nie miała wpływu na wydajność procesu degradacji DCF. **Habilitantka** skoncentrowała się również na badaniu rzeczywistych próbek, które zawierały również inne farmaceutyki. W warunkach rzeczywistych diklofenak i ibuprofen zostały całkowicie rozłożone przy zastosowaniu dawki 100 Gy. Karbamazepina i bisfenol A były jednak nadal obecne w badanym roztworze nawet po napromieniowaniu dawką 250 Gy.

**Habilitantka** zastosowała **H6** wiązkę przyspieszonych elektronów lub promieni  $\gamma$  do procesu rozkładu toksycznych substancji i jednoczesnego rozszczepiania cząsteczek wody, generując silne utleniacze i reduktory (rodniki). W tej pracy stosowano procesy AOP i AORP do usuwania karbamazepiny i diklofenaku z wody oraz ścieków. Ważnym efektem tych prac było stwierdzenie, że niezależnie od tego, czy stosowano wiązkę przyspieszonych elektronów, czy promieniowanie  $\gamma$  są to procesy wysokoenergetyczne. W porównaniu do czysto chemicznych metod, są bezpieczniejszą dla środowiska i czystsza technologią, która minimalizuje powstawanie niebezpiecznych produktów ubocznych. W porównaniu z UV AOP napromieniowanie wiązką elektronów jest technicznie prostsze, prawie niewrażliwy na kolor i zawiesinę w roztworze i zachodzi niezwykle szybko. Niestety, ale technologia wykorzystująca przyspieszone elektrony jest rzadziej stosowana niż UV.

Technologia wykorzystująca wiązkę przyspieszonych elektronów jest obecnie stosowana w coraz większym stopniu w wielu sektorach przemysłu, które wymagają szybkich i ekonomicznych procesów

Nie ma wątpliwości, że koszt akceleratorów generujących przyspieszone elektrony będzie obniżany przez doskonalenie technologiczne i procesowe ich otrzymywania. Zastosowania promieniowania jonizującego w skali rzeczywistej mogłyby idealnie uzupełniać tradycyjne procesy uzdatniania wody i ścieków.

W pracy **H7 Habilitantka** zbadala rozklad bisfenolu A (BPA) w wodzie i sciekach. Stwierdzila, ze szczególnie skuteczne usuwanie BPA zachodzi z udzialem rodnikow OH, ktore powstaja w wyniku radiolizy wody pod wplywem promieniowania  $\gamma$ . Dla poczatkowego stzenia BPA 10 mg/L **Habilitantka** wyznaczyla stala szybkości reakcji pseudo pierwszego rzędu rodnikow OH z BPA w obojętnych, napowietrzonych roztworach. Wynosila ona  $0,392 \text{ min}^{-1}$ . W pracy **H8 Habilitantka** prowadziła rozklad diklofenaku (DCF) w sciekach z miejskiej oczyszczalni sciekow. Badania prowadzone byly z wykorzystaniem zarowno promieniowania gamma, jak i wiązki elektronow. Zaobserwowano, ze DCF w fazie wodnej, powyzej osadu, zostal rozlozony z taka sama wydajnością przy uzyciu zarowno gamma promieniowanie i wiązka elektronow. Natomiast dla DCF w osadzie stwierdzono wyzsza efektywnosc degradacji, gdy zastosowano promieniowanie gamma. W pracy **H10 Habilitantka** rozkladala sertraline (SER) i citalopram (CIT) z wod naturalnych przy uzyciu promieniowanie  $\gamma$ . **Habilitantka** stwierdzila, ze proces rozkladu badanych lekow przeciwdepresyjnych z najwieksza skutecznoscia zachodzi w reakcji z rodnikiem hydroksylowym.

Przedstawiony dorobek w formie autoreferatu powstalego na podstawie 10 publikacji swiadczy o dojrzalosci naukowej i ogromnej wiedzy **Habilitantki**. Niestety musze jednak zwrócic uwage na sposob przedstawienia osiagnieć w autoreferacie. Bardzo czesto prezentowanych wynikow **Habilitantki** nie mozna odróżnić od wynikow innych autorow. Oczywiscie oceniany jest dorobek naukowy w formie artykulow, ale autoreferat powinien byc rowniez napisany prawidlowo.

### 3. Ocena calosci dorobku naukowego

**Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** jest autorka 10 artykulow, ktore sa podstawa osiagniecia habilitacyjnego oraz 16 innych artykulow. Byla rowniez uczestniczka na 16 konferencjach miedzynarodowych i 22 krajowych.

Artykuly, ktorych **Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** jest autorka lub wspolautorka cytowano 553 razy (wg Web of Science). Sumaryczny Impact Factor wynosi 98,44, a indeks Hirscha 14 (wg bazy Web of Science),

**Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** uczestniczyła w realizacji 9 grantow, a w jednym byla kierownikiem.

Jest naukowcem rozpoznawalnym w srodowisku zajmujacym sie radiochemia, o czym swiadczy 12 recenzji artykulow naukowych w prestizowych czasopismach. Jest rowniez czlonkiem kolegium reakcyjnego Chemical Treatments, jako recenzent w Frontiers in Environmental Chemistry.

Na podstawie przedstawionego wniosku stwierdzam, ze **Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** jest profesjonalnym pracownikiem naukowym zdolnym do samodzielnych badan.

#### 4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Pani dr Anna Bojanowska-Czajka, jako pracownik Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej nie miała możliwości prowadzenia regularnych zajęć dydaktycznym. W Jej dorobku dydaktycznym jest, w ramach współpracy z Wydziałem Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, opieka nad 5 studentami, którzy wykonywali prace magisterskie pod kierunkiem Pana prof. dr hab. Marka Trojanowicza.

Sprawowała również opiekę nad studentami zagranicznymi odbywającymi staże naukowe z ramienia IAEA.

#### 5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionego do oceny wniosku zawierającego dorobek naukowy składający się na rozprawę habilitacyjną stwierdzam, że **Pani dr Anna Bojanowska-Czajka** jest dojrzałym i kreatywnym pracownikiem naukowym. Wyniki, które uzyskała mają bez wątpienia charakter nowości naukowej i wnoszą z jednej strony znaczący wkład do nauki o procesach zachodzących w wodzie pod wpływem promieniowania jonizującego, z drugiej mogą być zastosowane w skali przemysłowej do oczyszczania wody pitnej.

W moim przekonaniu przedstawiona rozprawa habilitacyjna oraz dorobek naukowy **Pani dr Anny Bojanowskiej-Czajki** spełniają w pełni warunki uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne, określone w art.219 ust.1 pkt. 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Wnoszę zatem o dopuszczenie **Pani dr Anny Bojanowskiej-Czajki** do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

