



**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Dąmmary Chmielewskiej –Śmietanko pt.
„Application of nanocomposite sorbent SIEA-HNiFe in the process of water
purifications from radioactive isotopes”**

Przedstawiona do recenzji praca została wykonana w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Marka Henczki, kierownika Zakładu Inżynierii i Dynamiki Reaktorów Chemicznych na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej. Praca tematycznie idealnie pasuje do dyscypliny naukowej *Inżynieria Chemiczna* i postępowanie w sprawie nadania tytułu doktorskiego prowadzone jest na Wydziale Inżynierii Chemicznej PW posiadającym stosowne uprawnienia.

Pisząc tę recenzję nie mogę pominąć faktu, że w tym czasie mija prawie dokładna 10 rocznica awarii w kompleksie Elektrowni Jądrowej w Fukushima spowodowanej wystąpieniem tsunami po silnym trzęsieniu ziemi. W prawdzie wszystkie cztery bloki tej EJ zgodnie z założeniem wytrzymały to trzęsienie i zostały natychmiast wyłączone, ale olbrzymia ~15 m fala tsunami towarzysząca trzęsieniu ziemi spowodowała zniszczenie zaprojektowanego wału ochronnego i zalanie systemów awaryjnego chłodzenia i w rezultacie ich unieruchomienie. Ogromne spustoszenie po tsunami całej infrastruktury drogowej i energetycznej na okolicznym obszarze kilku tysięcy km² uniemożliwiło szybką naprawę awaryjnego systemu chłodzenia reaktorów. W rezultacie stopniowy wzrost temperatury rdzeni reaktorów spowodował w ciągu kilku dni ich odslonięcie, po odparowaniu wody, połączone z jej jednoczesną chemiczną reakcją z rozgrzаныmi cyrkonowymi koszulkami osłonnymi prętów paliwowych. Tworzący się w tej reakcji gazowy wodór spowodował wybuch, w wyniku którego doszło do ogromnych uwolnień do środowiska zawartych w stopionym paliwie produktów rozszczepienia, zarówno gazowych takich jak np. izotopów jodu i ksenonu, ale również stosunkowo łatwo lotnych w tych temperaturach izotopów cezu, przede wszystkim ¹³⁴Cs i ¹³⁷Cs. Przykładowo oceniono, że podczas tej awarii uwolniło się ~15 PBq ¹³⁷Cs tj. tylko 6-krotnie mniej niż podczas awarii w Czarnobylskiej EJ [*Radioactive release during nuclear accidents in Chernobyl and Fukushima* doi:10.1088/1757-899X/298/1/012011].

Uwolnienie produktów rozszczepienia w wyniku awarii spowodowało opad radioaktywny, głównie w okolicy o promieniu kilkudziesięciu kilometrów, w tym do rzek, wód gruntowych i oceanu. Początkowo, bezpośrednio po awarii, do dalszego chłodzenia reaktorów do dyspozycji była tylko silnie skażona woda morska, która po odparowaniu

tworzyła krystaliczne osady spowalniające proces chłodzenia. Zmusiło to ekipy ratowników do zastosowania szybkich i wydajnych metod odsalania z równoczesnym usunięciem radionuklidów cezu. Jako najlepsze do szybkiego usuwania wybrano metody adsorpcyjne z równoczesną filtracją zaproponowane przez koncern Toshiba.

Nie ulega wątpliwości, że ostatnio po wprowadzeniu nowej generacji reaktorów z wydajnym pasywnym odprowadzaniem ciepła przez kilka dni po wyłączeniu reaktorów, taka awaria jak w Fukushima nie może się już powtórzyć. Pozostaje jednak dalej poważna wada tej technologii jaką jest generowanie odpadów promieniotwórczych, również w trakcie normalnej eksploatacji reaktorów, w tym również badawczych. Powstające w trakcie procesu rozszczepienia atomów uranu lub plutonu radionuklidy np. cezu przedostają się z nieszczelnych koszulek cyrkonowych osłaniających paliwo do pierwotnych obiegów wodnych reaktora, powodując silną kontaminację wody w tym obiegu. Co więcej, pręty paliwowe po częściowym wypaleniu, ze względu na ich ogromną aktywność nie mogą być bezpośrednio transportowane do ostatecznego miejsca składowania. Wymagają więc one przechowywania w basenach w najbliższym sąsiedztwie EJ przez okres co najmniej kilku lat. Ze względu na wydzielanie się ciepła w tych prętach, w wyniku dalej zachodzących w nich rozpadów promieniotwórczych, konieczne jest ich dalsze chłodzenie w basenach. W rezultacie, w wodzie basenów obserwuje się narastanie aktywności nie tylko produktów rozszczepienia (głównie ^{137}Cs i ^{90}Sr) ale również radionuklidów pochodzących z aktywacji neutronowej materiałów koszulek prętów paliwowych, przede wszystkim ^{60}Co . Oczywiście te radionuklidy, gromadzące się stopniowo i przenikające do wody w tymczasowych przechowalnikach, powinny być usuwane i po ich koncentracji traktowane jako średnioaktywne odpady promieniotwórcze.

Uciążliwość tę można ograniczyć przede wszystkim przez obniżenie kosztów utylizacji i przechowania tych odpadów tj. przez opracowanie wydajnej i selektywnej metody ich usuwania. Jak podaje doktorantka w tabeli #1 wprowadzenia do rozprawy, w przypadku ciekłych odpadów promieniotwórczych w praktyce można wykorzystać do tego celu kilka metod takich jak:

- współstrącenie z osadami trudno rozpuszczalnymi
- wymianę na jonitach
- odparowanie
- odwróconą osmozę
- ultra lub mikrofiltrację
- ekstrakcję rozpuszczalnikami

Nie ulega wątpliwości, że w przypadku dużych objętości odpadów ciekłych z reaktorów jądrowych najefektywniejsza pod względem skuteczności usuwania radionuklidów i ekonomiki tego procesu wydaje się być wymiana jonowa. W metodzie tej można wykorzystać szereg jonitów o silnej selektywnej zdolności sorpcyjnej, którą to selektywność po odpowiedniej chemicznej modyfikacji można rozszerzyć na inne radionuklidy. Sam proces usuwania radionuklidów można przeprowadzić stosunkowo szybko i wydajnie techniką kolumnową z odpowiednią formą fizyczną sorbentu. Jednak w przypadku ciekłych odpadów promieniotwórczych ze względu na występowanie w nich radionuklidów w ekstremalnie niskich stężeniach molowych oraz na potencjalne efekty radiacyjne zachodzące podczas

przechowywania jonitów z usuniętymi radionuklidami, opracowanie takiego efektywnego układu nie jest proste. Wystarczy dodać, że w jednym z ostatnich opublikowanych przeglądów dotyczących usuwania radionuklidów ze środowiska wodnego podano ponad 40 przykładów stosowania różnych sorbentów począwszy od naturalnych jak np. bentonit poprzez modyfikowane silkażele, magnetyczne nanocząsteczki i cały szereg kompozytów na bazie nieorganicznych i organicznych nośników [Lalhmunsiana et al., Appl. Chem. Eng., Vol. 29, 2018, 127 <https://doi.org/10.14478/ace.2018.1019>]. Mnogość proponowanych metod oznacza zwykle, że żadne z proponowanych dotąd rozwiązań nie wyróżnia się zdecydowanie w stosunku do pozostałych

Z tych względów należy z uznaniem podkreślić, że tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Dąmmary Chmielewskiej-Śmietanko mieści się doskonale w nurcie aktualnych problemów szeroko rozumianej nukleoniki. Jako najważniejszy element nowości w tej pracy uważam wykorzystanie dalszej modyfikacji etanoloaminą kompozytu Si-KNiFe na bazie silikażelu uprzednio zmodyfikowanego potasowo-niklowym żelazocyjankiem. Po wprowadzeniu grup aminowych powstał nowy kompozyt SiEA-KNiFe, który można wykorzystać do równoczesnej efektywnej sorpcji zarówno jonów Cs^+ jak i Co^{+2} zarówno z rozcieńczonych roztworów wodnych jak i silnie zasolonej wody morskiej.

Cała praca napisana w języku angielskim i wydana w formie monografii w serii wydawnictw Politechniki Warszawskiej „Ph.D. Thesis” liczy 170 stron i zawiera 20 tabel oraz 63 wykresy i rysunki oraz 190 odnośników do najnowszej literatury. Praktycznie wszystkie odnośniki obejmują okres po 2000 roku (z wyjątkiem kilku fundamentalnych monografii czy publikacji Langmuira i Zeldowicza dotyczących podstaw zjawisk sorpcji odpowiednio z 1918 i 1934 roku). Już to samo świadczy o rzetelnej znajomości problemów naukowych i szerokim zakresie przeprowadzonych przez doktorantkę badań związanych z tematyką rozprawy.

Praca ma układ klasyczny. Po krótkim, ale istotnym wprowadzeniu w problem radioaktywnych skażeń izotopami $^{134,137}\text{Cs}$ oraz ^{60}Co w wyniku pracy reaktorów jądrowych, doktorantka w tabeli przedstawiła wady i zalety stosowanych metod usuwania tych radionuklidów z próbek wodnych. Następny rozdział zawiera listę celów i zadań badawczych w ramach tej pracy. Na uwagę zasługuje ambitne i kompleksowe ujęcie problemu, począwszy od metody syntezy i fizykochemicznej charakteryzacji właściwości stosowanego nanokompozytowego sorbentu SiEA-KNIFE, poprzez wyznaczenie statycznych, kinetycznych i termodynamicznych parametrów procesu sorpcji tych radionuklidów. Istotnym elementem potencjalnie szerszej przydatności tego sorbentu są badania wpływu innych jonów konkurujących w procesie sorpcji nawet z silnie zasolonych roztworów wody morskiej.

Kolejna teoretyczna część rozprawy składa się w zasadzie z dwóch podrozdziałów: opisu współczesnych teorii zjawisk sorpcji, ich klasyfikacji z uwzględnieniem dynamiki i termodynamiki tego zjawiska w układzie ciało stałe - ciecz oraz klasyfikacji i charakterystyki trzech grup sorbentów: naturalnych, syntetycznych i kompozytów, stosowanych do usuwania radionuklidów ze środowiska wodnego. Z uznaniem muszę przyznać, że jest to doskonałe kompendium mogące być zasadniczą częścią lub przynajmniej rozdziałem w monografii dotyczącej remediacji radionuklidów z tego środowiska. Na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku opisu izoterm sorpcji doktorantka uwzględniła współczesne modele

konkurencyjnej sorpcji dla układów wieloskładnikowych w fazie ciekłej, a omawiając kinetykę adsorpcji oprócz modeli pseudo pierwszo lub drugorzędowej reakcji, opisała ogólny bardziej złożony model uwzględniający dyfuzję adsorbentu w granicznym filmie fazy wodnej wokół ziaren sorbentu i w jego porach. W osobnym punkcie szczegółowo zostały omówione czynniki wpływające na sorpcję jonów z roztworów.

Poszukiwaniu wydajnych i ekonomicznie uzasadnionych sorbentów radionuklidów rozpuszczonych w wodzie poświęcona jest obszerna literatura. Przegląd literatury dokonany przez doktorantkę uwzględnił wszystkie najważniejsze układy sorpcyjne, poczynając od naturalnych substancji takich jak oczywiście krzemionka poprzez zeolity czy biomateriały. W przypadku syntetycznych sorbentów szczegółowo został omówiony proces wiązania jonów $^{137}\text{Cs}^{+1}$ przez najczęściej stosowane fosforany molibdenowe oraz syntetyczne organiczne wymiennicze jonowe, w tym polimerowe. Ze zrozumiałych względów osobny paragraf doktorantka zarezerwowała dla kompozytowych sorbentów na bazie kilku składników nieorganicznych i organicznych. W przypadku usuwania jonów $^{137}\text{Cs}^{+}$ większość prac dotyczy inkorporacji szesciocjano - żelazianów metali przejściowych (TMH) do różnych matryc, głównie porowatych form krzemionki. W przypadku matrycy z porowatej krzemionki łatwo bowiem uzyskać ziarna o małych średnicach charakteryzujących się dodatkowo dużą powierzchnią właściwą. Tego typu kompozyty charakteryzują się dobrą selektywnością dla jonów cezowych i dużą wartością dla nich współczynnika podziału $K_d \sim 10^6 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$. W paragrafie tym doktorantka zwróciła uwagę na możliwość modyfikacji naturalnego sorbentu montmorillonitu etanoloaminą prowadzącą do pojawienia się na jego powierzchni aminowych grup funkcyjnych $-\text{NH}_2$. Taka modyfikacja została również zastosowana przy opracowaniu nowego kompozytu SiEA-KNiFe opisanego w tej rozprawie.

Część teoretyczną rozprawy kończy opis stosowanych do opracowania wyników liczbowych metod statystycznych.

Reasumując chcę podkreślić, że ta część rozprawy utwierdziła mnie w przekonaniu o doskonałym przygotowaniu teoretycznym doktorantki do realizacji zamierzonych celów badawczych,

Eksperymentalna część pracy doktorskiej jest również starannie opisana. Po tabelarycznym podaniu wszystkich używanych odczynników, dalej opisane zostały wszystkie fizykochemiczne techniki stosowane do charakteryzacji i modyfikacji otrzymanych próbek kompozytów oraz metodyka pomiarów aktywności radionuklidów ^{60}Co i ^{134}Cs w roztworach wodnych techniką półprzewodnikowej spektrometrii promieniowania γ z detektorem HPGE (high purity germanium detector). Najciekawszą częścią tej rozprawy, obejmującą wyniki pomiarów i dyskusję, rozpoczyna się od opisu kolejnych etapów syntezy sorbentów aż do uzyskania pożądanego kompozytu SiEA-KNiFe modyfikowanego etanoloaminą, wykazującego zadowalające wartości współczynników podziału K_d zarówno dla jonów cezu jak i kobaltu.

Analiza obrazów SEM (skaningowa mikroskopia elektronowa) wykazała, że cząstki zsyntetyzowanego kompozytu składają się z dużej liczby nanocząstek o rozmiarach $\sim 20 \text{ nm}$, co wpływa na jego dużą powierzchnię właściwą $\sim 102 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Z kolei analiza widm EDX (spektroskopia rentgenowska z dyspersją energetyczną) potwierdziła sorpcję jonów cezu i kobaltu oraz konkurencyjny wpływ cezu na sorpcję kobaltu z roztworów zawierających jony obu

pierwiastków. Na uwagę zasługuje fakt, że termo grawimetryczna (TDA) analiza sorbentu potwierdziła jego termiczną stabilność w zakresie temperatur do 250 °C i radiacyjną odporność bez wpływu na zmiany sorpcji badanych jonów w zakresie znacznych dawek do rzędu 10⁵ Gy.

Po tak dokładnym scharakteryzowaniu sorbentu doktorantka przystąpiła do serii eksperymentów dotyczących statyki i dynamiki sorpcji radionuklidów ¹³⁴Cs oraz ⁶⁰Co z 5 ml roztworów dejonizowanej wody ze wskaźnikami radioaktywnymi i 3 mg sorbentu (przy intensywnym mieszaniu). Dla oznaczenia wpływu jonów interferujących na adsorpcję badanych jonów analogiczne doświadczenia przeprowadzono dla wody morskiej z Bałtyku zawierającej odpowiednio : 2,2 ; 0,2, 0,13, i 0,3 mg/ml jonów Na⁺; K⁺, Ca²⁺ i Mg²⁺.

W ramach tych eksperymentów doktorantka zbadała wpływ na wartości K_d:

- czasu kontaktu adsorbentu z roztworem
- wpływ pH roztworu
- wpływ początkowego stężenia adsorbowanych jonów
- wpływ temperatury sorpcji

Na podstawie tych pomiarów doktorantka

- porównała dla wody dejonizowanej i morskiej kinetykę sorpcji poszczególnych jonów i ich mieszaniny
 - wyznaczyła parametry izoterm sorpcji wg modelu Langmuira i Freundlicha
 - zbadała wpływ stężenia na współczynniki separacji R_L
- oraz wyznaczyła parametry termodynamiczne dla wszystkich układów sorpcji

Cała obszerna część eksperymentalna została przedstawiona wzorowo. Każdy z otrzymanych wykresów został wnikliwie omówiony, a otrzymane wartości liczbowe zostały zinterpretowane i porównane z danymi dostępnymi w literaturze dla innych układów. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów doktorantka mogła wyciągnąć następujące wnioski:

- zsyntetyzowany kompozyt wykazuje dobrą stabilność termiczną i radiacyjną odporność przy zachowaniu wysokich wartości współczynników K_d rzędu 10⁶ ml·g⁻¹ dla ¹³⁷Cs⁺ i 10⁵ ml·g⁻¹ dla ⁶⁰Co⁺²

- współczynniki podziału zależą silnie od stężenia początkowego nośników tych radionuklidów w roztworze (spadek nawet o 3 rzędy dla ¹³⁷Cs przy wzroście stężenia od 1·10⁻⁶ do 1·10⁻³ mol/dm³).

- szybkość sorpcji obu radionuklidów w przypadku wody morskiej jest wyraźnie niższa. przy czym dla jonów ¹³⁴Cs⁺ około 80% całkowitej ich ilości z roztworów rozcieńczonych jest związana po ~15 minutach, a w przypadku wody morskiej dopiero po ~2 godzinach. Sorpcja jonów Co⁺² jest wolniejsza.

- analiza kinetyki sorpcji wskazuje, że we wszystkich zbadanych układach zarówno dla wody dejonizowanej jak i morskiej model pseudo drugorzędowej reakcji jest najlepszy. Otrzymane wartości korelacji Pearsona dla prostych w odpowiednim układzie dla tej kinetyki miały zawsze wartości R²>0,99. Natomiast udział intramolekularnej dyfuzji na podstawie badania zależności zaadsorbowanej ilości radionuklidu q_t od t^{0,5} najbardziej widoczny był dla jonów Co⁺² w wodzie morskiej i tylko dla dłuższych okresów sorpcji.

- w przypadku sorpcji jonów Cs⁺ z układu jednoskładnikowego model Langmuira lepiej pasuje do wyników eksperymentalnych, podczas gdy dla Co⁺² lepsze dopasowanie wyników obserwuje się dla modelu Freundlicha.

- tą samą prawidłowość obserwuje się dla izoterm sorpcji tych radionuklidów z mieszaniny dwuskładnikowej. Jednakże zdolności sorpcyjne tego kompozytu w przypadku równoczesnej sorpcji obu jonów są wyraźnie niższe.

- pH roztworu praktycznie nie wpływa na wartość współczynnika podziału K_d dla ^{134}Cs , zarówno w przypadku sorpcji z dejonizowanej jak i z wody morskiej. Wpływ konkurencyjnej sorpcji jonów Co^{+2} można również pominąć. Natomiast w przypadku sorpcji Co^{+2} wartości K_d rosną w całym zakresie zbadanego pH, z wyjątkiem krótkiego plateau dla pH 5 ÷ 8 by osiągnąć maksymalną wartość zarówno dla wody dejonizowanej i morskiej przy pH=10. Ten ostatni wzrost doktorantka wyjaśnia dodatkową adsorpcją jonów $\text{Co}(\text{OH})^+$, które pojawiają się przy pH > 8. Podobną zależność zaobserwowano dla równoczesnej sorpcji tych radionuklidów z obu wodnych środowisk.

- badanie temperaturowej zależności współczynników dystrybucji K_d umożliwiło wyznaczenie termodynamicznych wielkości charakteryzujących sorpcję radionuklidów $^{60}\text{Co}^{+2}$ i Cs^+ w badanych układach wodnych. Doktorantka skorzystała z funkcji swobodnej entalpii Gibbsa $\Delta G^0 = -RT \ln K_d$ oraz z równania van't Hoffa do obliczenia entalpii z zależności temperaturowej dla $\ln K_d$ po to, by obliczyć również zmiany entropii ΔS w tym procesie. Ujemna wartość ΔG^0 dla wszystkich zbadanych układów wskazuje, że procesy sorpcji przebiegać będą samorzutnie. Interesującym wnioskiem wynikającym z tych pomiarów jest wykazanie, że proces sorpcji jonów cezu jest egzotermiczny tj. $\Delta H < 0$ i obserwuje się nieznaczny spadek wartości K_d ze wzrostem temperatury dla wszystkich układów. Natomiast w przypadku sorpcji jonów Co^{+2} obliczone wartości entalpii ΔH są dodatnie, co wskazuje, że proces sorpcji tych jonów jest endotermiczny i doktorantka klasyfikuje to zjawisko jako chemisorpcję.

Z opisu wniosków wynika, że doktorantka wszechstronnie i wyczerpująco zbadala zachowanie się tego kompozytu i jego zdolności sorpcyjne dla tych dwóch ważnych radionuklidów.

Z obowiązku recenzenta muszą te interesujące wyniki i uwagi do nich doktorantki skomentować.

- Jak wynika z rys #29 po 2 godzinach wartość współczynnika K_d dla jonów kobaltu wyraźnie spada. Brak mi w tym miejscu komentarza. Czy może to być spowodowane częściową hydrolizą grup $-\text{NH}_2$ na powierzchni kompozytu, czy może zmianą formy zaadsorbowanych hydratowanych jonów z Co^{+2} na np. $\text{Co}(\text{OH})^+$? Podobną tendencję, aczkolwiek słabszą, obserwuje się również dla Co^{+2} adsorbowanego z mieszaniny z ^{134}Cs .

- obliczone wg. modelu Langmuira wartości maksymalnej sorpcji Q_m nie korespondują z nachyleniami prostych wykreślonych w układzie: $C_e/Q_e = f(C_e)$ i podanych w tabelkach dołączonych do odpowiednich wykresów. Zgodnie z przyjętymi przez doktorantkę oznaczeniami równanie Langmuira możemy zapisać w postaci:

$$Q_e = Q_m \frac{b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

i po przekształceniu otrzymać zależność $\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{b \cdot Q_m}$

a zatem nachylenia prostej dla układu $Y = a \cdot X + d$, gdzie d jest stałą, wynika, że $a = 1/Q_m$.

Jednak tak obliczone wartości Q_m obarczone są dużym błędem (pomimo wysokich współczynników korelacji R^2) i do scharakteryzowania zdolności sorpcyjnych kompozytu w badanych układach osobiście stosowałbym znormalizowane wg równana Freundlicha wartości stałych Freundlicha K_F .

- drobne błędy redakcyjne znalazłem w obliczanych parametrach termodynamicznych, konkretnie swobodnej entalpii Gibbsa ΔG^0 . Podane wartości są nie w kJ/mol a w J/mol. Ponadto doktorantka przepisała je prawdopodobnie automatycznie z wydruków komputerowych, a należałoby je zaokrąglić do trzech miejsc znaczących. Oczywiście jest to drobne przeoczenie nie wpływające na znak wartości ΔG^0 i tym samym dalsze jej rozważania o przebiegu samorzutności procesów sorpcji we wszystkich zbadanych układach są poprawne.

- omawiając termodynamiczne parametry sorpcji jonów Co^{+2} , w szczególności podkreślając endotermiczny charakter tego procesu, zwróciłbym uwagę, że ten jon w roztworach wodnych do pH=8 występuje w formie zhydratowanej heksagonalnie z 6 cząsteczkami wody $Co(H_2O)_6^{+2}$. A zatem przed etapem jego sorpcji musi nastąpić przynajmniej częściowa dehydratacja otoczki jonów kobaltowych, związana z koniecznością dostarczenia energii do układu.

Reasumując, chciałbym pokreślić, że te uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na bardzo pozytywną ocenę całości pracy. Doktorantka w modelowy sposób scharakteryzowała właściwości i udowodniła przydatność nowego nanokompozytowego sorbentu do równoczesnego usuwania radionuklidów cezu i kobaltu z roztworów wodnych.

W moim przekonaniu, biorąc pod uwagę poziom naukowy tej rozprawy oraz dotychczasowy dorobek naukowy doktorantki charakteryzowany tzw. indeksem Hirsha równym 6, praca ta spełnia warunki określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) dotyczące trybu przewodów doktorskich i wnioskuję o dopuszczenie tej rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny *Inżynieria Chemiczna* Politechniki Warszawskiej do dalszych etapów postępowania związanego z nadaniem mgr inż. Dagmarze Chmielewskiej- Śmietanko stopnia doktora nauk technicznych.

Niezależnie od wysokiego poziomu naukowego dysertacji uwzględniającego współczesne standardy badań nanokompozytów, chciałbym podkreślić, że doktorantka już jest uznanym naukowcem w dziedzinie zastosowania kompozytów do remediacji wód po skażeniach promieniotwórczych. Na ogólną liczbę 14 prac opublikowanych w dobrych czasopismach i dotychczas 126 cytowań aż 10 artykułów jest poświęconych tej tematyce, z czego 2 ściśle dotyczą zagadnień rozwiązanych w pracy doktorskiej.

A zatem biorąc pod uwagę także to, że opracowany sorbent nanokompozytowy już został opatentowany i może być praktycznie wykorzystany do usuwania radionuklidów z roztworów w basenach z przechowywanymi w nich prętami paliwowymi, z pełnym przekonaniem składam dodatkowy wniosek o wyróżnienie recenzowanej rozprawy.

Prof. dr hab. inż. Henryk Bem



18.03.2020 r.

