

Dr hab. inż. Małgorzata Franus, prof. uczelni  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Budownictwa Ogólnego  
m.franus@pollub.pl

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Samoleja pt. „Badanie możliwości wykorzystania materiałów zeolitowych do oczyszczania wód z radu”**

#### **Przedmiot i podstawa opracowania**

Przedmiotem oceny, zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595), jest sprawdzenie czy praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie oraz jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest Pismo Pani mgr inż. Aleksandry Mroczek-Krzak, Zastępcy Dyrektora ds. Finansowo-Ekonomicznych, Głównego Instytutu Górnictwa oraz Rady Głównego Instytutu Górnictwa, z dnia 19.07.2021 roku, powierzającego mi wykonanie oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Samoleja pt. „Badanie możliwości wykorzystania materiałów zeolitowych do oczyszczania wód z radu”.

#### **1. Tematyka i zawartość rozprawy**

Recenzowana dysertacja Pana mgr inż. Krzysztofa Samoleja została wykonana w Głównym Instytucie Górnictwa pod opieką naukową promotora dr hab. inż. Stanisława Chałupnika, Prof. GIG oraz promotora pomocniczego dr inż. Michała Bonczyka i doskonale wpisuje się w nurt badań Instytutu, który zaangażowany jest w liczne badania nad oczyszczaniem wód z nuklidów promieniotwórczych. Autor podjął w niej zagadnienie oczyszczania wód z radu z zastosowaniem materiałów zeolitowych. Tematyka recenzowanej rozprawy jest jak najbardziej aktualna i dotyczy zagadnień o dużej wartości poznawczej. Wydobytcu surowców mineralnych, w tym niepromieniotwórczych jak ropa naftowa, gaz czy węgiel kamienny, towarzyszy często obecność wód słonych, zawierających podwyższone stężenia izotopów radu.

Występowanie izotopów radu w wodach podziemnych jest spowodowana naturalnymi procesami oddziaływania wód w warstwie wodonośnej z materią: skałami, glebą, czy nawet rudami metali. Migracja radu zachodzi z różną wydajnością. Również wody termalne, mineralne, wody wykorzystywane do celów balneologicznych oraz te przeznaczone do spożycia, mogą zawierać podwyższone stężenia radu. Odprowadzanie takich wód do środowiska powoduje promieniotwórcze skażenia powierzchni, przede wszystkim osadników kopalnianych i cieków, którymi odprowadzane są wody. Może dochodzić nie tylko do skażenia wód powierzchniowych, ale również osadów dennych na skutek powstawania promieniotwórczych osadów. Biorąc pod uwagę fakt, że zagrożenie radiacyjne jest poważnym problemem, to zagadnienia poruszane przez Autora są z pewnością bardzo istotne z punktu widzenia ochrony zdrowia i środowiska naturalnego.

Przeprowadzone na szeroką skalę testy wydajności oczyszczania dla jedenastu próbek zeolitów, dwóch popiołów lotnych oraz  $Al_2O_3$  przy użyciu pięciu rodzajów rzeczywistych wód kopalnianych, testów desorpcji radu z zeolitu NaP1, adsorpcji baru na zeolicie NaP1, badania ich właściwości oraz parametrów oczyszczania wód przed i po procesie oczyszczania przy użyciu różnych rozwiązań (kolumnowe, sekwencyjne batch i dynamiczne) pozwoliły Autorowi na ocenę możliwości i zasad wykorzystania tych materiałów do usuwania radu z wód w różnych dziedzinach gospodarki.

Problematyka podjęta przez Doktoranta w pracy jest dodatkowo interesująca pod względem analitycznym. Kunszt analizy doboru i warunków optymalizacji procesu oczyszczania wód z radu wskazuje, że wykazał się ogromną wiedzą chemiczną oraz błyskotliwością analityczną.

## **2. Charakterystyka i ocena pracy**

Opiniowana rozprawa Pana mgr inż. Krzysztofa Samoleja obejmuje 9 rozdziałów i posiada układ właściwy dla pracy doktorskiej. Składa się z analizy aktualnego stanu wiedzy oraz rozbudowanej części badawczej. Powyższa struktura jest poprawna w ogólnym zarysie, ale nieco odbiega od klasycznej, w której najczęściej przedstawia się „Przegląd literatury”, „Metodykę”, „Wyniki badań”. W przypadku publikacji wyników badań w formie monografii należałoby zastanowić się, czy nie zmienić w ten sposób układu pracy i rozdziały związane z metodyką scalić. Dotyczy to również wyników badań.

Zawartość pracy jest zgodna z jej tytułem, a układ jest logiczny i spójny (za wyjątkiem patrz uwaga wyżej), co odpowiada dobrym standardom przyjętych dla tego typu rozpraw.

Dysertacja rozpoczyna się Abstraktem w języku polskim i angielskim, w którym Autor uzasadnia istotę i znaczenie podjętych badań, przedstawia ogólne założenia pracy, cel naukowy i użyteczny oraz główne osiągnięcia. Po części literaturowej, badawczej i wnioskach na końcu rozprawy Autor przedstawia osiągnięte przez siebie wyniki analiz w formie Dodatku A, czyniąc ją bardziej czytelną.

Rozprawa doktorska liczy 147 stron, na których między innymi zamieszczono 82 rysunki oraz 40 tabel. W bibliografii Autor zamieścił 122 pozycje literaturowe, na które składają się głównie artykuły zamieszczone w fachowych czasopismach naukowych oraz monografiach. Cytowana literatura i jej właściwy dobór świadczy, że Doktorant bardzo dobrze orientuje w aktualnym położeniu wiedzy dotyczącej promieniotwórczości, występowania radu i oczyszczaniu wód z radu, rodzajach materiałów i struktur wykorzystywanych do jego usuwania.

Rozdział pierwszy poświęcony jest promieniotwórczości, izotopom radu, występowaniu radu w wodach podziemnych i wodach kopalnianych związanych z przemysłem wydobywczym i przetwórstwem uranu, z wodą pitną i wodami termalnymi, z wydobyciem ropy naftowej i gazu, rud metali fosforytów, węgla kamiennego. Doktorant precyzyjnie i czytelnie przedstawia przepisy prawa dotyczące wód kopalnianych oraz obowiązujące przepisy. Następnie opisuje metody oczyszczania wód z radu z doniesień literaturowych, które w większości nie wyszły poza fazę eksperymentalną, a niektóre są stosowane jako techniki wspomagające lub stosuje się tylko do oczyszczania wód pitnych. W rozdziale tym Autor również starannie opisuje występowanie radu w wodach podziemnych typu barowego i siarczanowego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Ta część rozprawy ma bardzo dużą wartość jako materiał źródłowy, ponadto uzasadnia celowość podjętych badań eksperymentalnych.

W rozdziale 2 Autor omawia minerały z grupy zeolitów uwzględniając ich właściwości i struktury, klasyfikację. Rozdział związany z przeglądem literaturowym kończy część opisująca możliwości różnorodnych aplikacji zeolitów w procesach przemysłowych, w inżynierii i ochronie środowiska i rolnictwie. Wydaje się, że w tej części opisu teoretycznego powinien zostać przedstawiony również szczegółowy mechanizm sorpcji na zeolitach.

Ogólnie jednak ten fragment dysertacji sprawia bardzo optymistyczne wrażenie, będąc świadectwem bardzo dobrego opanowania materiału teoretycznego przez Autora i odpowiedniego przygotowania do badań doświadczalnych. Dobra znajomość stanu wiedzy i aktualnej tematyki badawczej pozwoliła Autorowi dysertacji sformułować cele naukowe i użyteczne, które ujęto we Wstępie oraz precyzyjnie określić zakres badań, który obejmował:

- testy wydajności oczyszczania dla 11 próbek zeolitów, 2 popiołów lotnych oraz  $Al_2O_3$ ,
- testy wydajności oczyszczania przy użyciu 5 rodzajów rzeczywistych wód kopalnianych,
- test desorpcji radu z zeolitu NaP1,
- test adsorpcji baru na zeolicie NaP1,
- badania właściwości zeolitów (zawartości fazy zeolitowej, właściwości teksturalnych, składu mineralogicznego, głównych kationów jonowymiennych, stosunku Si:Al),
- badanie parametrów oczyszczanych wód przed i po procesie oczyszczania (stężenia izotopów radu  $^{226}Ra$  i  $^{228}Ra$ , składu chemicznego (kationy, aniony, przewodność elektrolityczna, pH, twardość ogólna).

Kolejne rozdziały stanowią składowe części doświadczalnej recenzowanej pracy. Autor w rozdziale 3 w kolejności wymienia najczęściej zastosowane metody pomiarowe, a następnie szczegółowo opisuje metodę pomiaru radu z wykorzystaniem techniki ciekłych scyntylatorów (LSC) poprzedzoną wcześniejszym wydzieleniem radu metodą chemiczną, metodę optyczną spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej (ICP-OES), dyfrakcję rentgenowską (XRD), mikroskopię skaningową (SEM), fluoroscencyjną spektrometrię rentgenowską z dyspersją fali (WDXRF) oraz badania teksturalne zeolitów. Wykorzystuje także technikę zimnych par w atomowej spektrometrii absorpcyjnej (CV-ASS) i wstrzykową analizę przepływową (FIA), ale opisu tych metod nie przedstawia.

Kolejny, okazały rozdział 4 dotyczy charakterystyki wybranych do badań wód i zeolitów. Autor równocześnie opisuje w nim metodykę poboru i przygotowania próbek wody wraz z wynikami badań, które skrupulatnie opisuje i zestawia w tabelach oraz na rysunkach. Charakteryzuje zeolit naturalny klinoptilolit oraz zeolity syntetyczne: 3A, 5A, 13X, zeolit Y, ZSM-5, SAPO-11, SAPO-34, NaX, NaP1 przedstawiając wyniki badań ich podstawowych parametrów w tabeli. Bardzo duże wrażenie robi szeroki i wnikliwy opis badań mineralogicznych próbek zawierających zeolity, a także bardzo staranne i dokładne przedstawienie dyfraktogramów na rysunkach. Udoskonaleniem

rozdziału jest ukazanie właściwości teksturalnych zeolitów oraz ocena ich powierzchni za pomocą mikroskopu skaningowego.

Rozdział 5 dotyczy badań wydajności oczyszczania wód z wykorzystaniem zeolitów. Autor w sposób opisowy i schematyczny przedstawia eksperymenty oczyszczania, które ułatwiają lepsze zobrazowanie chociażby różnic pomiędzy stosowanymi metodami, co jest istotne dla czytelnika. Oprócz założeń do eksperymentów znajdują się tym rozdziale wyniki badań testów kolumnowych, sekwencyjnych testów batch oraz sekwencyjnych testów dynamicznych, nie tylko dla zeolitów ale także dla popiołów z Elektrowni Kozienice i popiołów z Elektrowni Janikowo.

Ponieważ zeolit NaP1 charakteryzował się najlepszymi ze wszystkich zeolitów zdolnościami oczyszczania wody z radu, Autor w rozdziale 6 charakteryzuje możliwości jego wykorzystania poprzez wymywanie zeolitu przed procesem oczyszczania, próby wymywania radu z zeolitu po procesie oczyszczania różnych próbek wody i adsorpcję baru z wody syntetycznej.

Kolejny rozdział 7 jest analizą i interpretacją wyników badań oczyszczania wód z radu przy użyciu zeolitów, w którym Doktorant oprócz wstępu teoretycznego dotyczącego sorpcji, podsumowuje wyniki testów kolumnowych, sekwencyjnych testów batch oraz sekwencyjnych testów dynamicznych oraz analizuje parametry zeolitów i skład chemiczny wody mogących mieć wpływ na sorpcję radu. Wydaje się, że opis pojęcia sorpcji i mechanizmu sorpcji na zeolitach w tym rozdziale można by przedstawić nieco bardziej szczegółowo i przenieść do części teoretycznej dysertacji.

W rozdziale 8 Autor przedstawia szeroki wachlarz propozycji wykorzystania zeolitów w technologii oczyszczania w celu ograniczenia skażenia środowiska gruntowo-wodnego radem. Rozważania kończy rozdział 9 zawierający najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań i osiągnięcia w trakcie realizacji pracy.

Strukturę recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam jako poprawną, sugeruję jedynie zmianę kolejności rozdziałów, podzielenie na część literaturową i badawczą. Praca zredagowana jest bardzo starannie, zamieszczone w niej rysunki i tabele są czytelne, opatrzone poprawnymi podpisami.

Mimo jednak licznych i wartościowych elementów dysertacji doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Samoleja recenzent przedstawia poniżej wybrane, nieliczne błędy terminologiczne i językowe:

Str. 13, rozdz. 1.1 zawiera opis pierwiastków promieniotwórczych w środowisku nie poparty żadnym cytowaniem;

Str. 15, linia 16, od góry, błąd edytorski, proszę usunąć jeden przecinek;

str. 25, zawiera opis współstrącania radu i baru nie poparty cytowaniem;

str. 28, 13 linia od dołu, zmiana stylu zdania „40% całego złoża stanowiła mieszanka zeolitów, 4% zeolitu syntetyczny, 36% zeolit naturalny” na chociażby „40% całego złoża stanowiła mieszanka zeolitów w postaci 4% zeolitu syntetycznego, 36% zeolitu naturalnego”;

str. 30, rozdz. 2.1, Autor opisuje obszernie zeolity na 6 stron stosując cytowania jedynie 5 autorów;

str. 36, rozdz. 2.3 autor opisuje zastosowanie zeolitów do usuwania azotu i jonów amonowych wykorzystując literaturę sprzed 25 lat;

str. 37, 11 linia od dołu, proszę usunąć literę „z”. Powinno być ...”*co może*” a nie ...”*co z może*”;

Str. 40, linia 8 od góry, powinno być „*na rysunku 3.2*”, a nie „*na rysunku 4.16*”;

Str. 40, Autor używa nazwy metody analizy składu mineralogicznego jako rentgenowska metoda dyfraktometryczna. Wydaje się jednak, że słuszne jest zastosowanie nazwy metody jako dyfrakcja rentgenowska lub rentgenowska analiza fazowa;

Str. 41, linia 5 od dołu, powinno być „*adsorpcji/desorpcji*”, a nie *adsorbpcji/desorpcji*”;

Str. 44, brak opisu metody chromatografii jonowej, zimnych par w atomowej spektrometrii absorpcyjnej CV-ASS (ang. cold vapor atomic absorption spectrometry) i techniką amalgamacji, jony amonu – wstrzykową analizą przepływową FIA (ang. flow injection analysis) z detekcją spektrofotometryczną w porównaniu do pozostałych metod, które zostały opisane satysfakcjonująco;

Str. 46, linia 10 od dołu, błąd edytorski, powinno być „...przewodność elektrolityczna...”, a nie „...przewodność elektrolityczna...”;

Str. 46, linia 8 od dołu, błąd edytorski, powinno być „próbce”, a nie „probce”; „należy”, a nie „nalezy”;

Str. 48, linia 1 od góry, błąd edytorski, powinno być „wodą”, a nie „woda”;

Str. 52, linia 8 od góry, błąd edytorski, powinno być „wykorzystano” a nie „wykorzstano”;

Str. 52, linia 10 od góry, błąd edytorski, powinno być „Ponadto”, a nie „Ponatdo”;

Str. 52, legenda pod tabelką 4.4 dotycząca oznaczenia \*HIC, powinno być "oznacza wysoką zawartość niespalonego węgla", a nie „wysoką niespalonego zawartość węgla”;

Str. 54, Autor opisuje wyniki badań w rozdziale, który ma tytuł „Skład mineralogiczny”. Raczej poprawnie byłoby nadać mu tytuł „Skład mineralny” lub „Charakterystyka mineralogiczna”;

Str. 41, str. 61, Autor dwukrotnie opisuje objaśnienia symboli parametrów teksturalnych powierzchni. Wydaje się, że objaśnienie tych parametrów mogą pozostać jedynie przy opisie metod badań zeolitów;

Str. 62, linia 10 od dołu, błąd edytorski, powinno być „Langmuira”, a nie Langumiur’a;

Str. 70, linia 5 od góry, błąd edytorski, powinno być „przeprowadzone trzema metodami”, a nie „przeprowadzone w trzema metodami”;

Str. 73, linia 8 od góry, błąd edytorski, powinno być „...była możliwość równoległego wykonywania,,,”, a nie była możliwość możliwość równoległego wykonywania...”;

Str. 75, rozdział 5.2 proszę o zmianę stylu zdania „Najkrótszy czas kontaktu był wystarczająco długi, by doszło do sorpcji radu na zeolicie”. Stwierdzenie to jest sprzeczne, może lepiej użyć wyrażenia "wystarczająco skuteczny"?

Str. 60 i str.79, błąd edytorski, powinno być „klinoptilolitu” (Bolewski, Manecki 1993) a nie „kilinoptylolitu”;

Str. 80, linia 5 od dołu, niezrozumiałe zdanie „Nieakceptowalnie długi czas przepływu wody przez kolumnę”. Powinno być „Nieakceptowalny jest długi czas przepływu wody przez kolumnę”;

Str. 94, linia 3 od dołu, błąd edytorski, powinno być „Zrezygnowano także z przedstawiania niepewności pomiaru na wykresie, zamieszczono je w tabeli 5.20 z wynikami stężenia promieniotwórczego” a nie „Zrezygnowano także z przedstawiania niepewności pomiaru na wykresie, zamieszczono je w tabeli z wynikami stężenia promieniotwórczego 5.20”;

Str. 97, Autor używa określenia popiołów jako „popiół Kozienice”, popiół „Janikowo”. Według recenzenta powinno być dopisane: „popiół z Elektrowni Kozienice”, „popiół z Elektrowni Janikowo”;

Str. 125, linia 18 od dołu, błąd edytorski, powinno być „...zawiesina mechaniczna...”, a nie „...zawiesina mechaniczn,...”.

-rozdział 5.4 i 5.7 zatytułowane są jednakowo, mimo, że zawierają opis oczyszczania różnych wód przez NaP1. Sugeruję ich połączenie.

### 3. Ocena merytoryczna rozprawy

W badaniach, które przeprowadzono na potrzeby recenzowanej rozprawy doktorskiej wykorzystano materiały zeolitowe do oczyszczania wód z radu. Użyto zeolity naturalne w postaci klinoptiloidu, zeolity syntetyczne: 3A, 5A, 13X, zeolit Y, ZSM-5, SAPO-11, SAPO-34, NaX, NaP1, ale też inne materiały sorpcyjne takie popiół lotny z Elektrowni Janikowo, popiół lotny z Elektrowni Kozienice oraz  $Al_2O_3$ . Dzięki temu możliwe było porównanie wydajności adsorpcji radu przez popioły lotne,  $Al_2O_3$  i zeolity. Badania wydajności procesu oczyszczania wody z radu przeprowadzono dla kilku wybranych rodzajów wód rzeczywistych czyli radowo-siarczanowe, radowo-barowe, radowo-strontowe, które pobrano bezpośrednio z osadnika kopalni wyrobisk znajdujących się pod ziemią i charakteryzujących się zróżnicowanym składem chemicznym.

Wybrane materiały sorpcyjne szczegółowo scharakteryzowano określając granulację i właściwości teksturalne, skład mineralny i zawartość fazy zeolitowej, główne kationy jonowymienne i stosunek Si:Al. Aby zarejestrować przebieg spadku wydajności oczyszczania wód z radu z wykorzystaniem zeolitów i maksymalnie wysycić zeolity radem, zaproponowane przez Autora testy kolumnowe, sekwencyjne testy batch, sekwencyjne testy dynamiczne wymagały sporego nakładu pracy i czasu z uwagi na znaczną ilość pobranych próbek oczyszczonej wody z radu na dwóch popiołach lotnych,  $Al_2O_3$  i 11 zeolitach, które charakteryzowały się odmienną zawartością faz zeolitowych, granulacją, frakcją, parametrami teksturalnymi, typami sieci, stosunkiem Si:Al, metodami produkcji.

Ponieważ NaP1 charakteryzował się najlepszymi zdolnościami Autor wykorzystuje nadal ich potencjał i rozszerza zakres eksperymentów o badania chemiczne wody w trakcie procesu oczyszczania, sprawdza wymywanie pierwiastków z zeolitu przed procesem oczyszczania, następnie czy zeolit adsorbuje bar, który ze względu na zbliżone właściwości jest konkurencyjny dla radu i może zmniejszać wydajność radu. Cenne jest podjęcie przez Autora próby szacunkowego bilansu wymiany jonowej między atomami pełniącymi rolę kationów wymiennych w zeolicie NaP1, a barem oraz potwierdzenie adsorpcji baru przez zeolit poprzez wykonane badania XRF na określenie zawartości pierwiastków śladowych. Dodatkowo Autor sprawdza zastosowanie zeolitu NaP1 do oczyszczania wody kopalnianej i wpływ



pozostałych pierwiastków w wodzie na efekt usuwania radu, a wyniki przedstawia w tabelach i na rysunkach.

Omówienie wyników badań Autor rozpoczyna od rozdziału Analizy i interpretacji wyników badań oczyszczania wód z radu przy użyciu zeolitów, aż po możliwe zastosowania technologii oczyszczania i kończy na wnioskach. Ta część dysertacji stanowi istotny element naukowy i zasługuje na wysoką ocenę. Dyskusja często jest zaniedbywana w pracach doktorskich i czyta się ją jako streszczenie, ale Pan mgr inż. Krzysztof Samolej starał się uciec od tego schematu. Omówił starannie i szczegółowo wyniki badań i zasugerował dalsze kierunki badań.

Metodyka badań przedstawionych w części eksperymentalnej jest opisana wnikliwie, pod względem merytorycznym nie budzi najmniejszych zastrzeżeń.

Eksperymenty zostały opisane bardzo przejrzysto i klarownie, umożliwiając dokładne śledzenie kolejnych etapów badań i uzyskiwane postępy. Zdaniem recenzenta zakres badań i metodyka badawcza zostały dobrane we właściwy sposób i w pełni spełniają wymagania stawiane badaniom będących podstawą rozpraw doktorskich.

Doktorant włożył w wykonanie rozprawy wiele trudu. Zgromadził bardzo duży materiał eksperymentalny, co wymagało wiele cierpliwości, dokładności i wiedzy. Wszelkie wątpliwości, na przykład możliwy wpływ zawiesiny na zdolności adsorpcji, czy problemy w trakcie projektowania eksperymentu kolumnowego jak zatykanie złoża przez zeolit, systematycznie potwierdza innymi metodami badawczymi. Rozszerza także zakres eksperymentów względem NaP1, który wykazał się najlepszymi zdolnościami oczyszczania wody z radu, aby lepiej scharakteryzować możliwości jego wykorzystania i potencjał.

Wykazał się umiejętnością swobodnego posługiwania się takimi technikami instrumentalnymi chociażby takimi jak: metoda optyczna spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej (ICP-OES), rentgenowska analiza fazowa (XRD), mikroskopia skaningowa (SEM), fluoroscencyjna spektrometria rentgenowska z dyspersją fali (WDXRF) oraz badania teksturalne zeolitów.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, że Doktorant:

- właściwie wybrał temat ze względów poznawczych i użytkowych,
- trafnie postawił naukowe i oryginalne cele dotyczące oczyszczania wód z radu na zeolitach oraz w sposób naukowy przedstawia ich uzasadnienie,

- wykorzystał nowoczesne metody badawcze oraz zastosował naukowe metody obliczeń zgodnie z aktualnym stanem wiedzy dotyczącym złożonych zagadnień,
- właściwie dobrał metody badawcze i dokładnie je opisał,
- umiejętnie sformułował interpretację, dyskusję i wnioski.

Po analizie treści lektury przedstawionej do recenzji pozwolę sobie na zgłoszenie kilka uwag i komentarzy, które nasunęły mi się w trakcie czytania:

- str. 66 „Badania mikroskopowe zeolitów”, Autor przedstawia badania w mikroskopie skaningowym poprzez umieszczenie mikrofotografii powierzchni próbek o dosyć złej jakości. Recenzent czuje niedosyt, gdyż w tym rozdziale brakuje opisu mikrostruktury materiałów zeolitowych, kształtu, wielkości i morfologii ich ziaren.

- dlaczego do testów kolumnowych wykorzystano klinoptilolit i NaP1 o trzech frakcjach :<0,032 mm; 0,063 - 0,09 mm; 0,125 - 0,18 mm, a do sekwencyjnych testów batch z klinoptilolitem i NaP1 frakcją 0,125 - 0,18 mm?

-dlaczego zeolity ZSM-5 oraz zeolit Y nie wykazywały zdolności oczyszczania wody, nawet w początkowej fazie sekwencyjnych testów batch?

- dlaczego oczyszczono 75 l wody na zeolicie NaP1i NaX w sekwencyjnym teście batch skoro wydajność oczyszczania wody O<sub>2</sub> była na poziomie 50% i 60%, odpowiednio i nadal wzrasta?

- czy Autor rozważa możliwość utylizacji przepracowanych materiałów reaktywnych, jeśli tak, to w jakim kierunku?

## **Podsumowanie**

Uważam, że praca doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Samoleja jest rozprawą bardzo wartościową i stanowi cenny wkład zarówno do fizykochemii procesów sorpcyjnych na materiałach zeolitowych, jak i do technologii oczyszczania wód z radu. Wyniki wykonanych badań w ramach realizacji harmonogramu pracy doktorskiej mają również istotny aspekt użytkarny, ponieważ relatywnie tanie zeolity syntetyczne o wymaganych właściwościach użytkowych niewątpliwie znajdą szerokie, praktyczne zastosowanie w usuwaniu radu z wód w różnych dziedzinach gospodarki. Autor pracy wykazał się dobrą znajomością tematyki, właściwym doбором metod badawczych i ich opanowaniem wraz z właściwą interpretacją wyników badań.

Reasumując z całym przekonaniem stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Samoleja zatytułowana: „Badanie możliwości wykorzystania materiałów zeolitowych do oczyszczania wód z radu” spełnia wymogi stawiane tego typu pracom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki w związku z art. 179 ust. z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

*disponata Fmull*