

wykorzystywania ograniczonych zasobów naszej planety w bardziej zrównoważony sposób oraz przyczyniającym się do wzrostu gospodarczego w Europie”.

W polityce polskiej zagadnienia gospodarki o obiegu zamkniętym jako wiodącej idei prośrodowiskowej zostały ujęte w Mapie drogowej transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym (2019) oraz w Polityce Ekologicznej Państwa – 2030 (2019).

Gospodarka o obiegu zamkniętym ma więc istotne znaczenie dla zrównoważonego rozwoju. Stanowi otwartą drogę dla wielu możliwych zastosowań nowych materiałów oraz rozwoju nowych technologii, ale przede wszystkim umożliwia efektywną gospodarkę aktualnymi zasobami. Jest to podstawą do podejmowania prac badawczych w tym zakresie.

Jednym z najistotniejszych działów gospodarki jest rolnictwo, a tym samym chów i hodowla zwierząt. Na efektywność tego działu istotnie wpływa racjonalne żywienie zwierząt. Zwierzęta potrzebują paszy o odpowiedniej wartości odżywczej. Zachowanie odpowiedniej jakości mięsa i jaj wymaga także stosowania odpowiednio zbilansowanej ze względu na mikroelementy diety. Niemniej istotne jest racjonalne wykorzystywanie paszy przez zwierzęta, ponieważ niewykorzystane składniki odżywcze mogą mieć szkodliwy wpływ na środowisko naturalne.

Rozwój technologii alternatywnych surowców paszowych jest więc aktualny, a to stanowi podstawę do podejmowania prac badawczych również w tym zakresie.

Celem recenzowanej pracy doktorskiej było opracowanie technologii otrzymywania dodatków paszowych wykorzystującej proces sorpcji jonów metali na nośniku pochodzenia naturalnego stanowiącym produkt uboczny ekstrakcji olejków eterycznych z roślin ditlenkiem węgla w warunkach nadkrytycznych.

Celem szczegółowym, którego osiągnięcie stanowi o interdyscyplinarnym charakterze pracy było porównanie efektywności otrzymanych dodatków paszowych i powszechnie stosowanych soli mineralnych w hodowli kur niosek oraz określenie możliwości zagospodarowania roztworu po procesie sorpcji jako źródła cennych pierwiastków nawozowych.

Założono, że opracowane rozwiązanie ostatecznie będzie zgodne z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym.

Tematyka pracy jest aktualna, a postawiony cel i przyjęty zakres badań jest szczególnie istotny ze względów zarówno naukowych jak i użytkowych – możliwość opracowania technologii otrzymywania alternatywnych surowców paszowych, potwierdzenie celowości ich

stosowania i efektywności działania oraz redukcja marnotrawstwa i osiągnięcie maksymalnej wartości stosowanych i otrzymywanych materiałów.

Praca doktorska liczy 135 stron, zawiera 287 pozycji literaturowych (263 pozycje obcojęzyczne, 159 pozycje opublikowanych w ostatnim dziesięcioleciu), 41 rysunków (13 rysunków w części literaturowej, 1 obrazujący zakres pracy, 22 w części doświadczalnej, 6 jako materiały dodatkowe) oraz 47 tabel (16 tabel w części literaturowej, 8 w części prezentującej materiały i stosowane metody, 20 w części doświadczalnej, 3 jako materiały dodatkowe).

Pracę rozpoczyna spis treści, streszczenie w języku polskim i angielskim, następnie znajduje się zasadnicza merytoryczna część pracy (8 rozdziałów: Wstęp, Przegląd piśmiennictwa, Cel pracy, Materiały i metody, Wyniki i dyskusja, Podsumowanie, Wnioski, Bibliografia) oraz zestawienie materiałów dodatkowych (dodatkowe wyniki badań), spis rysunków i spis tabel.

Praca jest w przeważającej części poprawnie zredagowana. W treści znajdują się nieliczne niedociągnięcia językowe dotyczące interpunkcji lub gramatyki. Układ i opracowanie graficzne tekstu również są poprawne.

Część literaturowa pracy – Przegląd Piśmiennictwa (liczący 5 podrozdziałów), poprzedzona jest wstępem, w którym zaprezentowano uzasadnienie podejmowanej tematyki badawczej, wynikające z ciągle aktualnego problemu prawidłowego żywienia i związanych z tym problemów zdrowotnych organizmów żywych oraz szerokiego zainteresowania świata nauki i technologii sposobami rozwiązania tych problemów. Jako jeden ze sposobów sprostania problemowi niedoboru mikroelementów w diecie organizmów żywych, Autor wskazał biofortyfikację. W dalszej części wstępu Doktorant uzasadnił celowość stosowania produktów ubocznych ekstrakcji nadkrytycznej roślin jako adsorbentów jonów metali oraz zaprezentował podstawowe informacje dotyczące dwóch wybranych do badań materiałów roślinnych (nawłóć europejska i lucerna siewna).

W podrozdziałach części literaturowej Doktorant zaprezentował informacje dotyczące:

- źródeł mikroelementów w żywieniu zwierząt, ich roli w zachowaniu homeostazy, konsekwencji niedoboru i nadmiaru mikroelementów w diecie bydła, drobiu i trzody chlewnej,
- suplementacji mikroelementów, mikroelementowych dodatków paszowych, dodatków paszowych otrzymywanych na drodze biosorpcji oraz analizy rynku mineralnych dodatków paszowych w Polsce,

- biomasy roślinnej, zagospodarowaniu odpadowej biomasy roślinnej, jej źródeł i właściwości,
- metod wzbogacania biomasy w mikroelementy, procesu biosorpcji, w szczególności jej mechanizmu i opisu matematycznego, a także bioakumulacji.

Przegląd piśmiennictwa kończy „Podsumowanie części teoretycznej” stanowiące niejako potwierdzenie słuszności przyjętej koncepcji rozwiązania przedstawionego w kolejnym rozdziale celu pracy.

Część literaturową pracy oceniam pozytywnie. Doktorant zawarł w niej związane informacje prezentujące obszerną tematykę związaną z zagadnieniami żywienia zwierząt, mikroelementów i biosorpcji jako jednej z metod otrzymywania alternatywnych dodatków paszowych.

W kolejnym rozdziale (IV. Materiały i metody) zamieszczono zestawienie stosowanych odczynników chemicznych oraz materiałów roślinnych weryfikowanych pod kątem pojemności sorpcyjnej wobec wybranych jonów metali. Jako materiały badawcze zastosowano nawłóć olbrzymią, nawłóć pospolitą, lucernę nerkowatą, szczeń pospolitą, trzy odmiany miskantów, topolę osikową, robinie akacjową, wierzbę wiciową, lubczyk ogrodowy, imbir lekarski, muszkatułowiec korzenny i goździk. Biomasa stanowiła pozostałość po ekstrakcji olejków eterycznych ditlenkiem węgla w stanie nadkrytycznym w Instytucie Nowych Syntez Chemicznych w Puławach. Jako źródła jonów cynku(II), chromu(III), manganu(II) i miedzi(II) zastosowano uwodnione azotany(V) tych metali.

W rozdziale tym Autor zestawił również aparaturę stosowaną w pracy eksperymentalnej oraz zaprezentował metodykę prowadzonych prac badawczych i analiz.

Dla wybranych biosorbentów dokonano identyfikacji grup funkcyjnych metodą FTIR, oznaczono grupy funkcyjne metodą miareczkową, wyznaczono punkt zerowego ładunku elektrycznego, dokonano obrazowania techniką SEM oraz analizy EDX, a także określono powierzchnię właściwą metodą niskotemperaturowej sorpcji par azotu.

Kolejne podrozdziały stanowią opis eksperymentów, których wyniki zostały zamieszczone w pracy doktorskiej – wyznaczanie pojemności sorpcyjnej biomasy roślinnej, równowagi i kinetyki sorpcji w jednoskładnikowych (Cr(III), Cu(II), Zn(II), Mn(II)) i dwuskładnikowych (Cr(III)-Cu(II), Cu(II)-Zn(II), Zn(II)-Cr(III)) układach okresowych, krzywych przebiecia złoża w trójskładnikowym (Cr(III)-Cu(II)-Zn(II)) układzie przepływowym, optymalizacja warunków procesu okresowego, otrzymywanie dodatków paszowych w skali ćwierć-technicznej, badanie przyswajalności *in vitro* dodatków paszowych,

badania żywieniowe na kurach nioskach i metody badawcze w nich wykorzystane (ICP-OES, testy wytrzymałościowe, indeks Haugh,a, grubość skorupki jaj, testy organoleptyczne), wykorzystanie roztworu posorpcyjnego do fertygacji pszenicy i buraka ćwikłowego, a także otoczkowania ziaren pszenicy oraz wykonanie wstępnej analizy ekonomicznej dla proponowanego rozwiązania.

Część poświęconą wynikom i ich dyskusji (Rozdział V) rozpoczyna prezentacja efektów prac zmierzających do wyboru docelowej biomasy. W wyniku prac z licznymi materiałami pochodzenia roślinnego Doktorant stwierdził, że głównymi składnikami suchej biomasy są lignina, hemiceluloza i celuloza. W materiałach tych dominują grupy karboksylowe i hydroksylowe. Ze względu na wysokie pojemności sorpcyjne wobec badanych jonów metali oraz zróżnicowanie grup funkcyjnych, do dalszych prac wybrana została biomasa nawłoci i lucerny.

W badaniach równowagi sorpcji wyznaczono równania modelowe Langmuira, Freundlicha oraz Langmuir-Freundlich. Najlepsze dopasowanie, zarówno w przypadku sorpcji jedno- i dwuskładnikowej, osiągnięto dla modelu trójparametrowego Langmuir-Freundlich. Określono, że powinowactwo biomasy do jonów metali maleje w kolejności Cr(III), Cu(II), Zn(II), Mn(II).

Badania kinetyczne procesu sorpcji potwierdziły, że czas potrzebny na uzyskanie równowagi wynosi około 10 min. Najlepiej dopasowany do danych eksperymentalnych model pseudo-drugiego rzędu wskazał na najbardziej prawdopodobny przebieg sorpcji chemicznej.

W badaniach dynamiki oceniono konkurencyjną sorpcję jonów w układzie trójskładnikowym Cr(III)-Cu(II)-Zn(II). Najszybsze przebiecie złoża wystąpiło w przypadku jonów cynku. Najdłużej proces trwał w przypadku jonów chromu. Na podstawie otrzymanych wyników Autor utworzył koncepcję procesu wzbogacania biomasy wybranymi mikroelementami z wykorzystaniem kolumn adsorpcyjnych – układ przepływowy.

Przeprowadzając proces optymalizacji procesu biosorpcji Doktorant określił wpływ pH, stężenia jonów oraz stężenia biomasy na pojemność sorpcyjną złoża w układzie okresowym. Dokonał również oszacowania parametrów modeli empirycznych. W efekcie przeprowadzonych prac wytypowane zostały najkorzystniejsze warunki prowadzenia procesu otrzymywania dodatków paszowych metodą biosorpcji.

W dalszej części tego rozdziału Autor przedstawił wyniki etapu otrzymywania materiałów do badań aplikacyjnych, a następnie wyniki badań *in vitro* przyswajalności i badań aplikacyjnych na kurach nioskach. Otrzymane wyniki pozwoliły stwierdzić, że w środowisku

charakterystycznym dla układu trawiennego najlepiej dostępne są jony cynku, następnie miedzi i manganu. Uzyskane wyniki potwierdzają również lepszy transfer mikroelementów do treści jaj w przypadku skarmiania kur otrzymanymi dodatkami. Stosowanie ich wpłynęło również na zwiększenie grubości skorupki jaj, ale jednocześnie na obniżenie ich wytrzymałości. Nie zaobserwowano wpływu na nośność ptaków.

Roztwory posorpcyjne Doktorant zagospodarował w procesach fertygacji i otoczkowania nasion. Prezentowane w tej części pracy wyniki potwierdziły brak wpływu tych rozwiązań na kiełkowanie nasion. Zaobserwowano natomiast wzrost zawartości mikroelementów w suchej masie roślin.

Część eksperymentalną pracy prezentującą wyniki prowadzonych badań i analiz kończy wstępna analiza ekonomiczna, której wyniki wskazują na 5 letni okres zwrotu inwestycji w przypadku instalacji dla gospodarstw indywidualnych (30 kg dodatku/dobę) oraz 10 letni w przypadku instalacji w skali ćwierć-technicznej (350 kg dodatku/dobę).

Recenzowaną pracę doktorską kończą podsumowanie i syntetyczne wnioski (Rozdziały VI i VII).

Analizując treść recenzowanej pracy zauważyłem pewne błędy i nieścisłości, które doprowadziły do sformułowania następujących uwag.

Rozdział II. Przegląd piśmiennictwa:

- 1) W tabeli 1 na stronie 9 pojawiło się sformułowanie, że „tlenki cynku posiadają cechy abiotyczne”. Cynk(II) występuje w jednej formie tlenkowej.
- 2) Tabela 8, strony 21-22 – brak podanego źródła prezentowanych danych.
- 3) Użyte na stronie 30 sformułowanie odnoszące się do odpadów pochodzenia roślinnego – odpadowej biomasy: „magazynowanie jako sposób ich utylizacji”, uważam za niefortunne. Magazynowanie to przechowywanie dóbr. Odpady podlegają raczej składowaniu lub deponowaniu w specjalnie przygotowanym miejscu.
- 4) Niefortunne jest sformułowanie „jednoznaczna interpretacja analiz instrumentalnych czy doświadczeń” (strona 32). Interpretacji podlegają wyniki analiz i doświadczeń.
- 5) W mojej opinii informacje prezentowane w punkcie 4.1.2 (Opis matematyczny) w części poświęconej przeglądowi piśmiennictwa mogłyby zostać zamieszczone w części poświęconej metodom opracowania wyników. W punkcie 4.1.2 Autor dokonał prezentacji wybranych (stosowanych w pracy) modeli równowagowych i kinetycznych sorpcji oraz metodyki planowania eksperymentów. Informacje te nie są specyficzne

wyłącznie dla podejmowanego w pracy zagadnienia, a stanowią znane i stosowane metody obróbki i analizy wyników uzyskanych w badaniach procesów sorpcji.

Rozdział III. Cel pracy:

- 1) Jedno z prezentowanych na stronie 38 założeń poczynionych w pracy dotyczy przebiegu procesu sorpcji – założono, że „proces biosorpcji będzie zachodził jak w przypadku materiałów lignino-celulozowych”. Wyniki badań prezentowane na stronie 57 potwierdzają, że nawłóć jest właśnie takim materiałem. Porównanie nie ma więc podstaw.

Rozdział IV. Materiały i metody:

- 1) Tabela 17, strona 40: azotan(V) manganu(II) ma wzór sumaryczny $Mn(NO_3)_2$.
- 2) We wstępie do pracy zamieszczona została informacja o stosowanych biosorbentach (strona 6), m.in. lucerna siewna (*Medicago sativa*). W tabeli 18 na stronie 41 prezentującej użyte biomasy, taka roślina nie występuje. W zestawieniu widnieje lucerna nerkowata (*Medicago lupulina*).
- 3) Sformułowanie dotyczące detektora EDX, użyte na stronie 44, traktujące o tym, że „został użyty do potwierdzenia obecności jonów metali na powierzchni sorbentu” nie jest precyzyjne. Uzyskiwane z zastosowaniem detektora EDX wyniki świadczą o obecności zidentyfikowanych pierwiastków na powierzchni i w warstwach przypowierzchniowych badanego materiału.
- 4) Składy procentowe premiksów P50% oraz P100%, prezentowane w tabeli 23 na stronie 52 sumują się powyżej 100%.

Rozdział V. Wyniki i dyskusja:

- 1) Nieprecyzyjnym jest sformułowanie użyte na stronie 57: „Analiza termiczna próbki biomasy nawłóci wykazała udział 7,85% hemicelulozy, 52,78% ligniny oraz celulozy...”. Wyniki analizy termicznej nie wskazują wprost na skład analizowanego materiału. Zmiany masy w funkcji temperatury wymagają odpowiednich przeliczeń, aby stanowiły informację o możliwym składzie materiału.
- 2) Utrudniona jest interpretacja wyników uzyskanych metodą FTIR. Zestawienie pasm absorpcyjnych znajduje się w tabeli 25 na stronie 59, opis grup funkcyjnych na stronie 58, interpretacja wyników na stronie 63, a widma na stronie 64.
- 3) R^2 to współczynnik determinacji, a nie jak podano na stronie 74 „współczynnik oznaczenia”.
- 4) Na osiach wykresów z rysunków 25-29 nie występują rzeczywiste wartości parametrów opisane odpowiednimi jednostkami. Są to wartości z przedziału 0-1.

- 5) Niepoprawne jest stwierdzenie: „analiza wariancji w teście ANOVA wynosi 0,011”. ANOVA to właśnie analiza wariancji, a wskazana wartość odpowiada poziomowi prawdopodobieństwa testowego p .
- 6) Przykładowe równanie modelowe prezentowane na stronie 82 zostało błędnie zapisane. β to parametr modelu, a nie zmienna niezależna.
- 7) Interpretacja wyników analiz statystycznych związanych z wyznaczeniem modeli empirycznych dla procesów sorpcji, prezentowana na stronach 81 i 82, a także wyniki zamieszczone w tabeli 31 na stronie 82 sugerują, że są to oszacowane parametry odpowiednich modeli – współczynniki w równaniu regresji. Tymczasem opisywane są jako efekty eksperymentalne. Efektem dla danej wielkości wejściowej jest zmiana wielkości badanej przy zmianie nastaw wielkości wejściowej tylko pomiędzy wartościami skrajnymi. Efekty nie są równe parametrom modelu – współczynnikom. Np. dla modelu liniowego efekt jest równy podwojonej wartości odpowiedniego współczynnika regresji.
- 8) Jak wskazują chociażby wyniki prezentowane na rysunku 35 (strona 101) materiał po procesie sorpcji zawiera znaczną ilość wilgoci. Przed aplikacją wymagane jest jej usunięcie. W treści pracy Autor nie podaje jednak żadnych danych dotyczących zawartości wilgoci przed procesem suszenia i po nim. Proces suszenia jest również kosztochłonny, zarówno ze względów aparaturowych, jak i energochłonności. W istotny sposób rzutuje to na wyniki analizy ekonomicznej, w której wzięto pod uwagę koszty związane z suszeniem, jednak nie udostępniono żadnych informacji technologicznych i technicznych charakterystycznych dla tego etapu.
- 9) Rozdział prezentujący uzyskane wyniki kończy wstępna analiza ekonomiczna procesu. Z punktu widzenia gospodarki o obiegu zamkniętym jako modelu gospodarczego jest to korzystne, ponieważ potwierdza efektywność ekonomiczną rozwiązania o potwierdzonej efektywności ekologicznej, jednak od strony technologicznej (technologii chemicznej, inżynierii chemicznej) znacznie korzystniejsza byłaby wcześniejsza prezentacja przynajmniej wstępnych założeń technologicznych dla tego procesu.

W trakcie studiowania przedstawionej mi do recenzji rozprawy pojawiły się również niejasności, o których wyjaśnienie proszę oraz kwestie sporne wymagające dyskusji:

- 1) Zgodnie z tabelą 32 na stronie 84 zawartość jonów metali w materiale po sorpcji nie jest na poziomie wyznaczonej we wcześniejszych badaniach pojemności sorpcyjnej. Przy jakich parametrach prowadzono proces, żeby uzyskać zakładane zawartości mikroelementów?
- 2) Czy stężenia potasu w roztworach posorpcyjnych, prezentowane w tabeli 24 na stronie 54, są stężeniami oznaczonymi w próbach rzeczywistych, czy w jakiś sposób obliczonymi wartościami?
- 3) Mylące są wielokrotne zmiany sorbowanych jonów metali. Zgodnie z informacjami prezentowanymi na stronie 43, pojemność sorpcyjna biomas wyznaczona została wobec trzech jonów: Cr(III), Zn(II) i Cu(II). Na stronie 60, na której prezentowane są wyniki analiz właściwości fizykochemicznych wybranych biomas, znajdują się informacje o wynikach uzyskanych dla nawłoci po adsorpcji czterech jonów: Cr(III), Zn(II), Cu(II) i Mn(II). Jednocześnie w interpretacji wyników Autor wskazuje na potwierdzoną obecność jonów manganu, podczas gdy powoływany w treści rysunek 17, prezentujący mikrofotografie SEM i widma EDX, tego nie potwierdza.

Parametry równowagowe w układach jednoskładnikowych wyznaczone są dla czterech jonów: Cr(III), Zn(II), Cu(II) i Mn(II), a w układach dwuskładnikowych nie uwzględniono już manganu. Tymczasem parametry kinetyczne wyznaczone są dla trzech jonów: Zn(II), Cu(II) i Mn(II) – tym razem nie został uwzględniony chrom. Krzywe przebiecia wyznaczone zostały dla układu trójskładnikowego Cr(III)-Cu(II)-Zn(II). Optymalizacji poddawano natomiast układy jednoskładnikowe zawierające jony Zn(II), Cu(II) i Mn(II). Również do badań aplikacyjnych przygotowano materiał niezawierający Cr(III).
- 4) Dlaczego nie określono podstawowych parametrów mikrostruktury sorbentów: rozkładu porów, ich średnicy, objętości i powierzchni, porowatości otwartej i całkowitej materiałów? Są to istotne dla procesów sorpcji parametry, w szczególności dla proponowanego jako docelowe rozwiązanie bazującego na sorpcji w układzie przepływowym – kolumna ze złożem.
- 5) Optymalizując parametry procesowe jako zmienną zależną przyjęto pojemność sorpcyjną. Do wyznaczenia tego parametru nie jest konieczna znajomość modeli równowagowych i kinetycznych. Czy ze względu na możliwość łatwiejszej i pełniejszej interpretacji uzyskanych wyników, pełniejsze poznanie warunków procesu (równowagi i kinetyki) i maksymalizację wartości przyjętej zmiennej zależnej, nie byłoby lepiej

najpierw dokonać doboru najkorzystniejszych parametrów procesu sorpcji i dopiero w tych warunkach dokonać analizy równowagi i kinetyki?

- 6) Znaczna część wyników prezentowanych w pracy dotyczy sorpcji prowadzonej w układzie okresowym. Dla takiego procesu wyznaczone zostały parametry równowagowe oraz kinetyczne, przeprowadzony został proces optymalizacji oraz w taki sposób otrzymane zostały produkty do badań aplikacyjnych. Docelowo przewidziano jednak zastosowanie układów przepływowych i dla takich wariantów wykonano analizę ekonomiczną. Co prawda określono warunki przebiccia złoża, jednak tylko dla jednej biomasy i nie wyznaczono żadnego modelu dla takiego procesu. Nie dokonano również wyboru najkorzystniejszych parametrów takiego wariantu ani jego optymalizacji. Czym taki stan jest podyktowany?

W adsorberach okresowych opis szybkości ruchu masy określany jest przez zmianę stężenia składnika w fazie ciekłej i fazie stałej w funkcji czasu. Jednostka objętości stopniowo traci usuwany składnik, do osiągnięcia stanu równowagi, a gradient stężenia składnika stopniowo maleje do osiągnięcia stanu równowagi. W układach wykorzystujących kolumny adsorpcyjne w procesach półprzepływowych i przepływowych roztwór przechodząc przez kolumnę ulega wysyceniu zachowując gradient stężenia składnika, przez co siła napędowa procesu jest zwiększona, a proces zachodzi z innym mechanizmem. Etapem cząstkowym w tego typu procesie sorpcji, nieuwzględnianym w procesie okresowym, jest dyfuzja w filmie granicznym oraz dyfuzja składników przez pory. Analiza procesów przepływowych pozwala ocenić m.in. prędkość przepływu roztworu przez kolumnę oraz masy zastosowanego adsorbentu wyrażone w jego wysokości w kolumnie adsorpcyjnej. Są to parametry dodatkowe, które w procesach okresowych nie występują, a które w procesach przepływowych mają kluczowe znaczenie dla efektywności sorpcji. Nadmierne zwiększenie strumienia objętości roztworu przepływającego przez kolumnę adsorpcyjną zmniejsza skuteczność wiązania np. jonów. Znajomość porowatości złoża, jego powierzchni właściwej umożliwia dobór szybkości przepływu strumienia oraz wysokości złoża zapewniając minimalny, lecz wystarczający czas do maksymalizacji wydajności pracy kolumny, co w procesach okresowych nie jest możliwe do weryfikacji.

- 7) Dokonując optymalizacji parametrów procesu sorpcji Doktorant wykorzystał szereg wykresów 3W prezentujących wyznaczone powierzchnie odpowiedzi. Parametry rzekomo optymalne odczytane zostały właśnie z tych wykresów. Nie jest

to uzasadnione postępowanie. Wykresy przestrzenne służą wyłącznie do prezentacji charakteru zależności, natomiast wartości parametrów procesu, dla których zmienna zależna przyjmuje wartość ekstremalną obliczane są z równania modelowego, którego parametry estymowane są w metodzie RSM. Należy również zaznaczyć, że prezentowane wyniki analiz statystycznych nie są wynikiem symulacji tylko estymacji.

Nie zgadzam się również ze stwierdzeniem, że powierzchnie odpowiedzi o charakterze paraboloid są anomaliami. W ich przypadku ekstrema występują w innych miejscach niż naroża bądź krawędzie powierzchni. Ekstrema obserwowane właśnie w narożach bądź na krawędziach wyznaczanych powierzchni mogą być wynikiem zbyt wąskiego przedziału zmienności analizowanych parametrów procesu – zmiennych niezależnych.

Recenzowana praca doktorska mgr inż. Bartosza Ligasa jest rozprawą posiadającą wartość naukową i użyteczną. Rozwiązanie postawionego problemu badawczego z uwzględnieniem wymogów stawianych nowoczesnym i innowacyjnym procesom zgodnym z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym zasługuje na szczególną uwagę.

Doktorant wykazał się umiejętnościami prowadzenia eksperymentów oraz analizowania uzyskanych wyników. Realizując szeroki zakres prac osiągnął założony cel badań. Recenzowaną pracę oceniam pozytywnie.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Ligasa pt. „Wytwarzanie dodatków paszowych wzbogaconych w mikroelementy metodą biosorpcji” spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21 czerwca 2016 r., poz. 882). Wnoszę do Rady Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie mgr inż. Bartosza Ligasa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

