

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Dominika Borkowskiego pt.

„Zaprojektowanie oraz wytworzenie kaskadowego systemu filtrów o selektywnej sorpcji jonów fosforanowych i amonowych, a także metali ciężkich”

Podstawą opracowania recenzji było pismo z dnia 14 października 2024 roku (wraz załączoną Uchwałą Nr 5/1/2024-2028 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa z dnia 11 października 2024), wystosowane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Łódzkiej, prof. dr hab. inż. Łukasza Kaczmarka, w którym powierzono mi wykonanie oceny rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Borkowskiego

1. Wstęp

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została zrealizowana pod kierunkiem dr hab. inż. Zbigniewa Draczyńskiego, prof. PŁ z Wydziału Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów Politechniki Łódzkiej oraz dr inż. Konrada Sulaka z Centrum Biopolimerów i Włókien Chemicznych, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Łódzki Instytut Technologiczny jako promotora pomocniczego. Jest to praca z zakresu dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa.

2. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Układ pracy, struktura podziału treści, kolejność rozdziałów, kompletność tez etc.

Praca liczy ponad 250 stron, przy czym część teoretyczna stanowi ok ¼ całej pracy. Pozostała część rozprawy zawiera treści związane z badaniami własnymi i interpretacją wyników. Układ pracy jest jak najbardziej prawidłowy, rozprawa składa się z 13 rozdziałów, przy czym część teoretyczna obejmuje 6 rozdziałów, w których autor w sposób systematyczny dokonuje przeglądu literatury, obejmującej zagadnienia związane z realizacją postawionego problemu badawczego.

Część eksperymentalna rozpoczyna się od jasno sprecyzowanego celu, zakresu i tezy pracy. Następnie Doktorant uzasadnia wybór wytypowanych polimerów oraz przedstawia metody badań, które służą ocenie własności fizykochemicznych czy mechanicznych otrzymanych włókien. Kolejne rozdziały obejmują opis sposobów otrzymywania materiałów włóknistych (włókniny igłowanej i spunbond) oraz modyfikacji ich powierzchni. W rozdziale czwartym i piątym Autor opisuje możliwości modyfikacji otrzymanych włókien igłowanych pod kątem ich własności adsorpcyjnych (sorpcja jonów fosforanowych i amonowych). W ostatnich dwóch rozdziałach, Autor wskazuje i bada

możliwości zastosowań biodegradowalnych filtrów adsorbujących metale ciężkie, a także analizuje właściwości bakteriobójcze włóknin filtracyjnych zawierających aktywne nanocząsteczki ZnS, TiO₂ oraz nanosrebra. Całość pracy zakończona jest wszechstronnym podsumowaniem i prawidłowo wysuniętymi wnioskami. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż przed wprowadzeniem, Autor umieścił wykaz skrótów i oznaczeń, co czyni pracę znacznie bardziej przystępną czytelnikowi.

Zasadność podjętego tematu

Postępująca intoksykacja środowiska wymusza poszukiwanie coraz to nowszych, alternatywnych materiałów i sposobów służących przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu. Obecnie kładzie się nacisk na rozwój innowacyjnych włóknin przemysłowych, które z uwagi na swoje walory, jak wytrzymałość, lekkość, funkcjonalność, odgrywają kluczową rolę nie tylko w budownictwie, przemyśle motoryzacyjnym, ale także rolnictwie, ogrodnictwie czy ochronie środowiska. Niestety większość z dotychczas stosowanych włóknin wykonana jest z trudno degradowalnych polimerów, które po zużyciu stają się uciążliwym odpadem zalegającym w środowisku przez wiele lat. Z punktu widzenia ochrony środowiska, odpady te stanowią ogromne zagrożenie dla zdrowia ludzi i organizmów żywych w środowisku zarówno glebowym, jak i wodnym, zwłaszcza, że doniesienia literaturowe z ostatnich lat wskazują na coraz to większe zagrożenie tzw. mikroplastikami zarówno pochodzenia pierwotnego, jak i wtórnego. W świetle zrównoważonego rozwoju środowiska naturalnego, zagospodarowanie tego rodzaju odpadów (z tworzyw sztucznych) stało się jednym z wyzwań współczesnej cywilizacji. Dlatego właśnie aktualnie, na całym świecie trwają intensywne badania nad materiałami ekologicznymi, przyjaznymi środowisku, biodegradowalnymi, które po zużyciu będą się relatywnie szybko rozkładać, np. w kompoście czy glebie oraz nie będą stanowić ekotoksykologicznego zagrożenia dla organizmów wodno-lądowych czy zdrowia człowieka. Poszukiwanie nowoczesnych, innowacyjnych, funkcjonalnych i zarazem przyjaznych środowisku materiałów adsorpcyjnych/filtracyjnych przyczyni się niewątpliwie do ich bardziej efektywnego działania, minimalizując negatywny wpływ na środowisko nawet po ich zużyciu. Polimery biodegradowalne stały się w ciągu ostatnich dwóch dekad niewątpliwie jednym z najbardziej obiecujących materiałów, które realnie mogą się przyczynić do poprawy jakości nie tylko środowiska naturalnego, ale także zdrowia człowieka. Ekologiczne aspekty tychże polimerów nie budzą najmniejszych wątpliwości i stanowią one doskonałą alternatywę dla niedegradowanych, klasycznych tworzyw sztucznych, które niestety po zużyciu stanowią bardzo uciążliwy odpad dla środowiska. Możliwość modyfikacji polimerów biodegradowalnych pod kątem ich funkcjonalności i użyteczności dla celów ochrony środowiska, jak chociażby w procesie tworzenia aktywnych włóknin zdolnych do filtracji nadmiernych ilości fosforu, potasu, czy metali ciężkich, to niewątpliwie wyzwanie z którym należy się zmierzyć w kontekście zrównoważonego rozwoju środowiska naturalnego. Podjęty w pracy temat ma niewątpliwie charakter nowatorski i stanowi cenne źródło informacji dla dalszych bardziej wnikliwych badań związanych z procesami adsorpcji i filtracji przy użyciu tychże przyjaznych środowisku materiałów.

Analiza przeglądu literaturowego

Część teoretyczna pracy obejmuje 6 rozdziałów ułożonych w logiczną i uporządkowaną całość. Pierwszy rozdział w sposób bardzo zwięzły przedstawia zagrożenia związane zanieczyszczeniami zbiorników wodnych. Autor podkreśla i wyjaśnia problem eutrofizacji wód powierzchniowych, wskazując na zarówno naturalne jak i antropogeniczne źródła tego zjawiska. Zwraca także uwagę na zanieczyszczenia metalami ciężkimi czy skażenia wywołane mikroorganizmami w wodzie. W rozdziale drugim Autor opisuje rodzaje oraz sposoby oczyszczania wód powierzchniowych uwzględniając zalety i wady metod chemicznych (chlorowanie, ozonowanie, koagulacja i flokulacja, adsorpcja), fizycznych (sedymentacja, filtracja) oraz biologicznych (bioremediacja, fitoremediacja). Rozdział trzeci obejmuje krótką charakterystykę najbardziej popularnych polimerów biodegradowalnych takich, jak PLA, PBS, PHB, PCL, TPS. W kolejnym rozdziale Autor koncentruje się na metodach przetwórstwa polimerowego, podkreślając znaczenie metody przędzenia włókien (przędzenie na sucho, mokro i ze stopu), włóknin (metoda pneumatyczna – melt blown, elektrospining, spunbond, włókniny igłowane). Piąty rozdział to opis wybranych metod modyfikacji właściwości struktur włóknistych, wliczając w to metody fizyczne (obróbki: wyładowaniami elektronowymi i plazmowa), chemiczne (sieciowanie, szczepienie), biologiczne oraz modyfikacje nanododatkami (mieszanie w stopie, roztworze, powlekanie). Ostatni rozdział części literaturowej obejmuje zagadnienia związane z modyfikacją wyrobów włóknistych uwzględniając takie modyfikatory, jak: sorbenty (opoka, bentonit, tlenek glinu, węglan wapnia, słoma owsiana, słoma konopna, węgiel aktywny) oraz nanomateriały o właściwościach bakteriobójczych (siarczek cynku, tlenek tytanu, srebro – nano Ag).

Podsumowując część literaturową, stwierdzam, że, Autor wykazał, iż ma aktualną wiedzę dotyczącą badanego problemu naukowego. Prawidłowo dobrał i wykorzystał literaturę z renomowanych czasopism o zasięgu krajowym i międzynarodowym, aczkolwiek moim zdaniem, rozdział trzeci, dotyczący polimerów biodegradowalnych i kompostowalnych, powinien zostać opisany w sposób bardziej wnikliwy, ponieważ polimery te stanowiły trzon pracy eksperymentalnej. Zabrakło mi wyjaśnienia, co to jest biodegradacja, jakie czynniki wpływają na jej przebieg i czym różni się polimer biodegradowalny od kompostowalnego w świetle normy EN 13432.

Analiza części eksperymentalnej

Część eksperymentalną rozprawy słusznie rozpoczynają cel i tezy pracy, które są jasno i zwięźle skonstruowane, podobnie jak zakres badań, który jest przedstawiony w sposób bardzo klarowny i zrozumiały. Wybór badanych polimerów podyktowany był ich własnościami włóknotwórczymi, co świadczy o gruntownej znajomości literatury światowej przez Autora w tym zakresie. Podobnie, słusznie zresztą, wytypowano sorbenty do badania oceny zdolności filtracyjnych z zastosowaniem modyfikowanych powierzchniowo włóknin jako nośnika. Autor bada najważniejsze parametry fizykochemiczne zarówno materiałów wyjściowych (polimery w postaci granulatu), jak również po ich przetworzeniu w drodze otrzymywania włóknin, niezależnie czy to metodą igłowania, czy spunbond. Co więcej, Autor przeprowadza również badania (bio)degradacji w wodzie w warunkach najbardziej zbliżonych do rzeczywistych, w których aplikacja modyfikowanych włóknin miałaby mieć zastosowanie. W tym przypadku, jak najbardziej uzasadnionym jest, ocena degradacji hydrolitycznej, a mniej enzymatycznej zastosowanych polimerów z uwagi na potencjalne, końcowe przeznaczenie gotowego wyrobu. Badania wskaźnika szybkości płynięcia, właściwości termicznych oraz termogravimetrycznych PLA i PBS pozwoliły Doktorantowi na dobranie optymalnych warunków w procesie

przetwórstwa. Technikami FTIR-ATR, DSC/TGA, SEC oraz SEM zbadano zarówno stopień modyfikacji nośników polimerowych, jak i zmiany zachodzące w procesie degradacji badanych materiałów. Czytając rozdział drugi odniosłem wrażenie, że w obszarze otrzymywania włókien, Autor ma zdecydowanie największe doświadczenie i w sposób dojrzały i profesjonalny, z wszelkimi detalami, w sposób wnikliwy opisuje proces wytwarzania włókien. Świadczy to o jego dużej wiedzy i umiejętnościach badawczych w tym zakresie. Szeroki zakres przeprowadzonych w tym rozdziale badań oraz analiza wyników pozwoliły Autorowi na wyciągnięcie rzetelnych wniosków, dzięki którym, w rozdziale trzecim pracy, można było zaplanować badania modyfikacji otrzymanych włókien. Tutaj również Autor przedstawia w sposób klarowny metodykę modyfikacji włókien, wliczając w to analizę postępu stopnia polimeryzacji kwasu akrylowego na ich powierzchni, co niewątpliwie podparte jest gruntowną wiedzą Doktoranta w tym obszarze. Na uwagę zasługuje ilość przeprowadzonych badań (zwłaszcza techniką FTIR-ATR), które potwierdziły zachodzącą fotopolimeryzację kwasu akrylowego. Jego całkowity stopień przereagowania jest bardzo istotny z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego, ponieważ kwas ten, jak słusznie Autor wspomniał (na stronie 134), jest szkodliwy dla środowiska wodnego. Rozdział czwarty i piąty to opis zdolności sorpcyjnych zimmobilizowanych na powierzchni włókien PBS i PLA sorbentów jonów fosforanowych (węglan wapnia, Polonite) oraz amonowych (tlenek glinu oraz bentonit i CLOISITE 116). Autor szerokim zakresem badań z wykorzystaniem technik między innymi FTIR-ATR, SEM/EDS, ICP-EOS potwierdza rosnące stężenie sorbentów na włóknach polimerów, a także efektywność procesu adsorpcji obu filtrowanych pierwiastków (P, N). W rozdziale szóstym opisane zostały możliwości wykorzystania utworzonych włókien PBS i PLA jako nośniki (kieszonki) filtracyjne dla sorbentów zdolnych pochłaniać metale ciężkie. Do badania zdolności sorpcyjnych ołowiu (jako przykładowego metalu ciężkiego) wytypowano słomy: owsianą i konopną oraz węgiel aktywny. Technikami ICP i ASA potwierdzono efektywne działanie rosnących stężeń użytych sorbentów, co biorąc pod uwagę, iż są one pochodzenia naturalnego, cały układ (nośnik plus sorbent) jest całkowicie biodegradowalny. Fakt ten jest niezwykle istotny z punktu widzenia ochrony zanieczyszczenia wody skażonej metalami ciężkimi. Ostatni rozdział to analiza właściwości bakteriobójczych włókien filtracyjnych zawierających aktywne nanocząstki siarczku cynku, tlenku tytanu i nanosrebra. Zimmobilizowana postać tych dodatków na włókninach PLA i PBS pozwoliła na skuteczne i efektywne zahamowanie wzrostu testowanych bakterii chorobotwórczych – *Escherichia coli* (pałeczka okrężnicy) oraz *Staphylococcus aureus* (gronkowiec złocisty).

Podsumowując część eksperymentalną rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że zaplanowany przez Autora zakres prac został zrealizowany, zaś wyznaczone cele pracy zostały osiągnięte. Otrzymane wyniki badań potwierdzają zasadność postawionej hipotezy wskazując na możliwość zastosowania technik włókienniczych w tworzeniu zaawansowanych i innowacyjnych biodegradowalnych materiałów filtracyjnych co stanowi nowatorski aspekt pracy. Autor wykazał, że możliwa jest efektywna modyfikacja powierzchniowa PLA i PBS, pozwalająca na skuteczną i wydajną sorpcję zanieczyszczeń, w tym przypadku jonów fosforanowych i amonowych. Autor wykazał również, że włókniny modyfikowane siarczkiem cynku, nanosebrem czy tlenkiem tytanu wykazują zdolności bakteriobójcze względem *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*. Ponadto, otrzymane włókniny z powodzeniem mogą stanowić worki filtracyjne na różnego rodzaju sorbenty, które są również przyjazne środowisku, jak słoma owsiana, konopna czy węgiel aktywny, co w połączeniu z biodegradowalną włókniną, stanowi w całości kompletny i przyjazny środowisku system filtracyjny.

Oryginalność podjętego problemu badawczego, jakim było zastosowanie i modyfikacja włókien z polimerów biodegradowalnych (PBS, PLA) pod kątem zbadania ich zdolności sorpcyjnych w celu ograniczenia skażenia środowiska wodnego pierwiastkami biofilnymi, metalami ciężkimi czy bakteriami chorobotwórczymi, powinna znaleźć aprobatę wśród czytelników, w tym pracowników naukowych prowadzących badania nad nowoczesnymi, innowacyjnymi i przyjaznymi środowisku technologiami służącymi ochronie wód naturalnych przed zanieczyszczeniami.

Uwagi krytyczne

W sekcji skróty:

OECD SIDS – wyjaśniono jedynie skrót SIDS, zaś pominięto OECD WHO – Światowa Organizacja Zdrowia, a nie zdrowotna

Część teoretyczna

Strona 14: O ile w streszczeniu polskim Autor zastosował indeksy dolne dla tlenków glinu i tytanu oraz węglanu wapnia, o tyle w streszczeniu angielskim format indeksów dolnych został pominięty (Al_2O_3 , $CaCO_3$, TiO_2).

Strony 19, 23, 27, 28, 32 (przykładowe): Sposób cytowania kilku prac w nawiasie powinien raczej wyglądać tak jak przyjęło się w piśmiennictwie publikacji naukowych, że jeżeli cytujemy prace od 9 do 11, to nie piszemy przykładowo [9, 10, 11] tylko [9 – 11]. Wówczas praca robi się bardziej przejrzysta i czytelniejsza.

Strona 31: „Alternatywą dla tego rodzaju polimerów, coraz częściej stosowane w przemyśle, medycynie, transporcie i rolnictwie są polimery biodegradowalne pochodzenia **naturalnego** tzw. biopolimery naturalne, do których możemy zaliczyć polisacharydy (skrobia, celuloza, chityna), białka (kolagen, keratyna) oraz polinukleotydy (DNA, RNA) lub pochodzenia **syntetycznego** (PLA, PBS, PHB, PCL)”. W tym przypadku skrót PHB powinien zostać doprecyzowany, ponieważ jeżeli jest to bakteryjny poli[(R)-3-hydroksymaślan], to wówczas mamy do czynienia z polimerem pochodzenia naturalnego a nie syntetycznego.

Sam Autor, na stronie 33, wskazuje że „PHB jest polimerem termoplastycznym produkowanym przez różnego rodzaju mikroorganizmy, w tym bakterie (*Cupriavidus necator*, *Bacillus megaterium*) sinice lub algi, które magazynują ten polimer wewnątrzkomórkowo, jako źródło swojej energii rezerwowej [120]” Zatem zapis na stronie 31, o którym mowa powyżej, jest niefortunny.

Strona 31: Autor posługuje się zamiennie pojęciem poli(kwas mlekowy) i polilaktyd stosując jeden skrót - PLA. Czy te pojęcia są tożsame? Czy są jakieś różnice pomiędzy polilaktydem, a poli(kwasem mlekowym)?

Wzory strukturalne polimerów, moim zdaniem, powinny być narysowane w dostępnych programach graficznych lub chociaż wklejone w lepszej jakości, jak np. w przypadku struktury skrobi.

Strona 34: „TPS pochodzi ze skrobi, która składa się z dwóch typów polimerów: amylazy oraz amylopektyny, których w zależności od pochodzenia skrobi wagowy udział procentowy wynosi odpowiednio 20-25% dla amylazy oraz 75-80% dla amylopektyny” Powinno być: TPS pochodzi ze skrobi, która składa się z dwóch typów polimerów: **amylozy** oraz amylopektyny, których w zależności od pochodzenia skrobi wagowy udział procentowy wynosi odpowiednio 20-25% dla **amylozy** oraz 75-80% dla amylopektyny. **Amylaza jest enzymem rozkładającym amylozę.**

Podobny błąd jest na stronie 35 w podpisie rysunku 3.6 „Struktura chemiczna amylazy (a) oraz amylopektyny (b)” – powinno być **amylozy** (a) oraz amylopektyny (b)” Moim zdaniem rysunek ten powinien być dużo lepszej jakości i opisany w języku polskim, żeby był bardziej czytelny dla odbiorcy.

Strona 59: Podrozdział „6.2.1 Siarczek cynku” jest dość mylący i niezbyt czytelny dla odbiorcy. Autor we wspomnianym podrozdziale stara się opisać siarczek cynku, jednakże przed samym podrozdziałem, w zdaniu powyżej, czytamy „Do najczęściej stosowanych nanododatków z jakimi mamy do czynienia w zastosowaniach przemysłowych to: tlenek cynku, ditlenek tytanu, srebro, tlenek miedzi, tlenek krzemu, nanorurki węgla lub naturalne polimery (np. chitozan, celuloza) [217, 218]”. Zatem czy powinno być: Do najczęściej stosowanych nanododatków, z jakimi mamy do czynienia w zastosowaniach przemysłowych, to: **siarczek** cynku, ditlenek tytanu, srebro, tlenek miedzi, tlenek krzemu, nanorurki węgla lub naturalne polimery (np. chitozan, celuloza) [217, 218]?

Co więcej, na końcu tego podrozdziału jest napisane: „ZnS ma wiele zalet, takich jak właściwości transportowe, właściwości półprzewodnikowe, dobra stabilność termiczna, nietoksyczność, wspomniana już nierozpuszczalność w wodzie i wysoka aktywność fotokatalityczna i niski koszt [225, 226, 227]. **Tlenek cynku** jest jednym z materiałów o szerokim zakresie zastosowań, do których możemy zaliczyć: urządzenia laserowe, urządzenia emitujące światło, nieliniowe urządzenia optyczne, lampy elektronopromieniowe, powłoki antyrefleksyjne [227]”, co moim zdaniem, tworzy skomplikowaną łąmigłówkę dla czytelnika i wprowadza go w błąd.

Część doświadczalna

Strona 64: Brak w tekście odnośnika do rysunku 1

Strona 67: Brak w tekście odnośnika do rysunku 1.1

Strona 73: Dlaczego Autor nie zademonstrował również liczbowo średniej masy molowej tylko wagową średnią? Stosunek wagowej do liczbowej średniej masy molowej (M_w/M_n) wskazuje na stopień polidispersji (PDI) stąd również M_n powinna znaleźć się w pracy (nie tylko M_w).

Strona 79: „Obniżenie M_w dla PLA wynosi 24000 g/mol co stanowi 14,31% ubytku, natomiast dla PBS 46100 g/mol równe 25,81% ubytkowi względem M_w badanych wyjściowych polimerów” - czy wiadomo jakie były współczynniki polidispersji (PDI)? Wartości te mogą wskazywać na charakter zmian w strukturze polimeru podczas procesu igłowania.

Strona 80: Brak w tekście odnośnika do rysunków 2.3 i 2.4.

Strona 81: „Porównując badane włókny z ich granulatami, widzimy, że włókna igłowana z PLA (po II grzaniu), tak samo jak granulaty, nie posiada struktury krystalicznej, natomiast dla włókna z PBS widzimy częściowy wzrost udziału struktury krystalicznej 66,43%, w porównaniu do granulatu PBS, który posiada strukturę krystaliczną równą 65,37%” Z czego może wynikać wzrost stopnia krystaliczności w wyniku przetwórstwa?

Strony 81 i 93: Symbole wymienione w tabelach 2.5 i 2.10 (T_g , C_p , X_c itd.) powinny być wyjaśnione w podpisie tabeli, tak jak to jest w artykułach naukowych.

Strony 81 i 108: Tabele 2.5 i 2.13 dostarczają informacji odpowiednio na temat krystaliczności włókna igłowanego i spunbond z PBS, przy czym krystaliczność włókna igłowanego wyniosła 66%, zaś spunbond 74%. Z czego może wynikać różnica w krystaliczności?

Strona 83: „Rys. 2.5 Mapa stacji hydrolitycznych w centralnej Polsce” Moim zdaniem powinno być „Mapa stacji hydrologicznych w centralnej Polsce”.

Strona 88: „Wykorzystując stosunek wartości współczynników R1 oraz R2 udało się zaobserwować zachodzący proces hydrolizy. Wraz ze zwiększaniem się czasu degradacji stosunek ten rośnie. Po 120 dniach oddziaływania wody na włókninę PLA możemy zauważyć, że ten stosunek znacząco rośnie w stosunku do wartości dla próbki nie degradowanej (wzrost po 120 dniach stosunku $R1/R2 = 0,2$) co stanowi 40% wzrost udziału struktury krystalicznej w masie włókien względem próbki kontrolnej”.

Faktycznie, stwierdzenie to znajduje potwierdzenie w tabeli 2.10 (strona 93). Co spowodowało tak wysoki wzrost fazy krystalicznej PLA (o 40%) podczas degradacji w wodzie? To zjawisko powinno być, moim zdaniem, przeanalizowane w rozdziale „Dyskusja wyników”.

Strona 91: Brak w tekście odnośnika do rysunku 2.12.

Na tej samej stronie znajdujemy zapis „Aby zaobserwować wpływ czasu na postępującą hydrolizę wykonano wykres (Rys..), który pokazuje, że cały proces przebiega w sposób liniowy” który prawdopodobnie tyczy się rys 2.13.

Strony 98 i 129: Proszę o wyjaśnienie dlaczego na rysunku 2.30 i 2.82 mamy spadek pH na początku procesu hydrolizy i czym spowodowany jest fakt, że ten spadek jest większy dla PBS?

Strony 102/103: „Parametry procesu otrzymywania włókien metodą „spod filiery” przedstawiono za pomocą poniższych schematów (Rys. 2.46 – 2.47)” Jeżeli przedstawiono je na poniższych schematach, to powinno być 2.45 i 2.46.

Od tego momentu pracy, do końca rozdziału drugiego, wkraść się błąd w numeracji opisywanych rysunków. Kolejność rysunków jest prawidłowa, natomiast odnośniki w tekście są błędne co znacznie utrudnia czytanie pracy i wymaga zwiększonego skupienia czytelnika. I tak przykładowo:

Strona 105: „Poniższe wykresy przedstawiają wyniki badań GPC (Rys. 2.48 – 49)” – tymczasem rysunki przedstawione poniżej mają numerację 2.47 i 2.48.

Strona 110: „Analizowane zdjęcia wraz z wynikami zamieszczono poniżej (Rys. 2.52 – 2.57)” - rysunki przedstawione poniżej mają numerację 2.51 i 2.56.

Strona 113: „Jak widzimy na załączonym wykresie (Rys. 2.58) wraz ze wzrostem rozmiaru cząstek obie włókniny zwiększają swoją skuteczność filtracyjną” tymczasem przedstawiony wykres ma numer 2.57.

Strona 115: „Widma FT-IR ATR badanych włókien obrazują poniższe spektrogramy (Rys. 2.59 – 2.66), natomiast proces degradacji oraz stosunek pasm został przedstawiony w Tabelach 2.17 – 2.18” – przedstawione są rysunki od 2.58 do 2.65.

Strona 118: „Aby zaobserwować wpływ czasu na postępującą hydrolizę wykonano wykres (Rys. 2.62), który pokazuje, że cały proces ma charakter liniowy” – powinno być: Aby zaobserwować wpływ czasu na postępującą hydrolizę wykonano wykres (Rys. 2.61).

Strona 120: „Analizując powyższe widmo (Rys. 2.64) widzimy, że proces hydrolizy nie spowodował pojawienia się dodatkowych pasm, podobnie jak to miało miejsce podczas analizy włókniny igłowanej” – powyższe widmo w pracy ma nr 2.63 (strona 119).

Tego samego rodzaju błąd możemy znaleźć na stronach: 121, 122, 126 i 130.

Rysunek 2.64 podpisany jest jako „Widma FT-IR ATR włókien igłowanych z PLA wraz z charakterystycznymi współczynnikami R1 oraz R2” - na rysunku widma podpisane są jako PBS – wprowadza to chaos utrudniający analityczne myślenie o zagadnieniu.

Strona 125: „Wyniki badań oraz metodykę badawczą zaprezentowano w poniższej tabeli (Tabela 2.11)” – poniższa tabela ma numer 2.21.

Strona 129: „Rys. 2.83 Badanie przewodności wodnych ekstraktów po procesie hydrolizy włókien igłowanych z PLA oraz PBS” – czy nie powinno być: Badanie przewodności wodnych ekstraktów po procesie hydrolizy włókien **spunbond** z PLA oraz PBS (bo tak brzmi legenda na wykresie).

Strona 138: „Rys. 3.5 Widma FT-IR ATR włókien igłowana PBS poddanych procesowi polimeryzacji za pomocą promieniowania UV (PLA O' – włóknina nie naświetlana, PBS 5' – włóknina poddana 5 min. naświetlania UV, PBS 10' – włóknina poddana 10 min. naświetlania UV, PBS 20' – włóknina poddana 20 min. naświetlania UV, PBS 30' – włóknina poddana 30 min. naświetlania UV, PBS 40' – włóknina poddana 40 min. naświetlania UV)” – powinno być: Rys. 3.5 Widma FT-IR ATR włókien igłowana PBS poddanych procesowi polimeryzacji za pomocą promieniowania UV (**PBS O'** – włóknina nie naświetlana, PBS 5' – włóknina poddana 5 min. naświetlania UV, PBS 10' – włóknina poddana 10 min. naświetlania UV, PBS 20' – włóknina poddana 20 min. naświetlania UV, PBS 30' – włóknina poddana 30 min. naświetlania UV, PBS 40' – włóknina poddana 40 min. naświetlania UV).

Strona 139: „Tabela 3.2 Proces polimeryzacji kwasu akrylowego na włókninie igłowanej z PLA”- tabela jak domniemam dotyczy PBS co wynika z ciągu tekstu, zatem czy nie powinno być: Tabela 3.2 Proces polimeryzacji kwasu akrylowego na włókninie igłowanej z PBS?

Podobnie rys. 3.6. Czy nie powinno być: Proces polimeryzacji kwasu akrylowego na włókninie igłowanej z PBS zamiast PLA?

Strona 142: Dlaczego spośród różnych próbek, do badania kąta zwilżania wytypowano próbki PLA 6202D zmodyfikowane (40' UV) oraz PBS FZ71PM zmodyfikowane (40' UV)?

Strona 148: „Obserwując powyższe widma (Rys. 4.3), widoczne są nowe piki wskazujące na zachodzące zmiany w strukturze chemicznej matrycy PLA analizowanych włókien” – czy możemy mówić o zmianie struktury chemicznej PLA, czy raczej tylko o obecności zaadsorbowanych dodatków?

Strona 150: Na powyższym zbiorczym spektrogramie (Rys. 4.6) widoczny jest wpływ użytego adsorbentu (Polonite®) na strukturę chemiczną matrycy polimeru włókien PLA – rysunek jest mało czytelny. Powinny się na nim znaleźć tylko te sygnały które wskazują na zmiany.

Strona 175: „Rys. 5.5 Widma FT-IR ATR adsorpcji jonów amonowych przez zmodyfikowane włókniny igłowane PLA tlenkiem glinu (Al₂O₃)” – na rysunku są dane z PBS a nie PLA.

Strona 176: „Rys. 5.6 Widma FT-IR ATR adsorpcji jonów fosforanowych przez zmodyfikowane włókniny igłowane PLA Cloisite – 116” – j.w. na rysunku są dane z PBS, a nie PLA.

Strona 196: „Rys. 6.11 Zawartość jonów ołowiu w układach włóknina igłowana (PLA lub PBS) + sorbent (**węgiel aktywny, paździerz konopna, węgiel aktywny**)” – proszę o wyjaśnienie, jak prawidłowo powinien brzmieć podpis na rysunku.

3. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, mimo licznych błędów edytorskich, niedopatrzeń i pewnego braku uporządkowania, co podejrzewam wynikało z pośpiechu przy pisaniu pracy, charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym, ma dużą wartość poznawczą i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Problematyka pracy jest przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na całym świecie, ponieważ poszukiwanie tzw. „green materials” o realnym potencjale aplikacyjnym, posiadających własności użytkowe zbliżone do obecnie, powszechnie stosowanych ale nie-biodegradowalnych materiałów filtracyjnych, jest ogromnym i interdyscyplinarnym wyzwaniem łączącym w sobie badania z zakresu inżynierii materiałowej, inżynierii środowiska, chemii czy chemii środowiska. Autor

realizując wyznaczony przez siebie tak duży zakres badań, wykazał, że posiada dużą wiedzę i umiejętności analityczne, potrafi dobrze zaplanować eksperyment i prawidłowo zinterpretować wyniki, co świadczy o Jego dojrzałości naukowej. Zamieszczone w recenzji uwagi krytyczne nie umniejszają wysokiej ocenie pracy. Tym samym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Dominika Borkowskiego spełnia wymagania prac doktorskich zapisanych w Ustawie z dnia 20 lipca 2018r – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce oraz wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. Schley'.

