



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Szczecin, 10.02.2025

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Katedra Technologii Materiałowych

Al. Piastów 19

70-310 Szczecin

dr hab. inż. Sandra Paszkiewicz, prof. ZUT

tel. 914494589, email: spaszkiewicz@zut.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny OLSZOWSKIEJ
pt.: „Binarne i hybrydowe kompozyty epoksydowe z piankami węglowymi i materiałem grafenowym w roli napelniaczy”.

Praca przedstawiona do dyskusji Radzie Naukowej Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk

Promotor: dr hab. Sławomira Pusz

Promotor pomocniczy: dr inż. Marcin Godzierz

Podstawa opracowania:

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Naukowej Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk z dnia 19.11.2024r.. W ocenie rozprawy zostały przyjęte kryteria, wynikające z obowiązującej Ustawy (art. 187 Ustawy) z dnia 18 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.).

1. Uwagi ogólne

Przedstawiona rozprawa doktorska dotyczy badań prowadzonych w celu wyjaśnienia w jaki sposób ziarna pianki węglowej, stosowane jako napelniacz w osnowie epoksydowej – zarówno osobno, jak i w połączeniu z materiałem grafenowym – wpływają na ostateczne właściwości kompozytów polimerowo-węglowych. Ponadto, przedstawiony w niniejszej

WIMIM Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie



www.wimim.zut.edu.pl

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
al. Piastów 19, 70-310 Szczecin
tel.: 091 449 45 51, 091 449 43 46
faks: 091 449 43 46
e-mail: dzwimim@zut.edu.pl



dysertacji przedmiot badań umożliwia pogłębienie zrozumienia interakcji między porowatymi ziarnami pianki węglowej oraz nanopłatkami grafenowymi, stosowanymi jako napelniacze w osnowie polimerowej. Oddziaływania te determinują przebieg procesu sieciowania oraz kształtowanie się morfologii kompozytu, co bezpośrednio wpływa na jego właściwości, a wyniki badań nad nowymi kompozytami z rozdrobnioną pianką węglową mogą przynieść istotne korzyści aplikacyjne. Tematyka pracy jest aktualna, gdyż dotyczy zagadnienia które we współczesnej inżynierii materiałowej jest niezwykle istotne a dotyczy opracowywania kompozytów charakteryzujących się wysoką wytrzymałością mechaniczną, doskonałymi właściwościami termicznymi i elektrycznymi, przy jednoczesnym zachowaniu niskiej masy oraz dużej odporności na czynniki zewnętrzne. Takimi materiałami mogą być kompozyty polimerowo-węglowe, składające się z osnowy polimerowej wzbogaconej o różne rodzaje węglowych napelniaczy. Jak zauważa Autorka, dotychczas w ograniczonym zakresie stosowano porowate materiały węglowe, takie jak pianki węglowe, jako napelniacze osnów polimerowych. Pianki te, wykazują wyjątkowo niską gęstość, dobrą wytrzymałość mechaniczną, wysoką przewodność cieplną i elektryczną, a także znaczną odporność na czynniki termiczne i chemiczne oraz zdolność do pochłaniania różnorodnych form energii. Co więcej, porowatość i struktura szkieletu węglowego pianek silnie zależą od rodzaju prekursora oraz warunków produkcji, co otwiera szerokie możliwości kształtowania ich struktury poprzez odpowiedni dobór materiałów i optymalizację procesu wytwarzania, a tym samym modyfikację właściwości powstałych kompozytów. Dzięki tym unikalnym cechom, kompozyty z dodatkiem pianek węglowych mogą nie tylko oferować korzystne właściwości termiczne i elektryczne, ale także wykazywać gęstość porównywalną lub niższą niż sama osnowa polimerowa oraz zdolność do absorpcji różnych rodzajów energii, na przykład elektromagnetycznej, mechanicznej czy akustycznej. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zatytułowana „Binarne i hybrydowe kompozyty epoksydowe z piankami węglowymi i materiałem grafenowym w roli napelniaczy” dotyczyła analizy struktury i właściwości materiałów węglowych, obejmującej zarówno samodzielnie otrzymywane pianki





Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

węglowe, jak i komercyjnie dostępne nanopłatki grafenowe oraz grafit proszkowy, a także badanie binarnych i hybrydowych kompozytów epoksydowych, w których te materiały pełnią funkcję napelniaczy. Zgodnie z przedstawionym stanem wiedzy, porowate materiały węglowe były dotychczas stosowane jako wzmocnienie kompozytów polimerowych w bardzo ograniczonym zakresie, mimo że ich struktura oraz właściwości powierzchniowe – w tym przypadku pianek węglowych – znacząco odbiegały od tych, które charakteryzują powszechnie używane węglowe napelniacze osnów polimerowych. Ta różnorodność wg pani mgr Olszowskiej otwiera perspektywę opracowania nowatorskich kompozytów polimerowo-węglowych o unikalnych cechach. W ramach rozprawy doktorskiej zaprojektowano, wyprodukowano oraz przeprowadzono badania struktury i właściwości binarnych kompozytów epoksydowych, w których zastosowano podstawową piankę węglową otrzymaną z usieciowanego prekursora epoksydowo/fenolowo-formaldehydowego o różnych frakcjach ziarnowych, a także piankę modyfikowaną nanopłatkami grafenowymi. Dodatkowo zbadano hybrydowe kompozyty epoksydowe, w których głównym napelniaczem była rozdrobniona podstawowa pianka węglowa, uzupełniona o komercyjne nanopłatki grafenowe wprowadzane do osnowy niezależnie od cząstek pianek. Ponadto w celu porównawczym Autorka wytworzyła i zbadała binarne kompozyty epoksydowe wzmocnione materiałem grafenowym lub grafitem proszkowym.

Przedstawiona do recenzji dysertacja została opracowana w formie monografii naukowej, która w oryginalny i twórczy sposób podejmuje rozwiązanie opisanego powyżej problemu badawczego. Praca jest napisana klarownie i przejrzystie, nie budząc istotnych uwag zarówno pod względem merytorycznym, jak i edytorskim. Praca doktorska pani Olszowskiej obejmuje rozdziały zawierające przegląd literatury dotyczącej tematyki badań, szczegółowe określenie celów i założeń pracy, podkreślenie jej innowacyjnego charakteru oraz opis zastosowanej metodyki badawczej. Zawiera również analizę uzyskanych wyników, ich omówienie oraz sformułowanie końcowych wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

WIMIM Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie



www.wimim.zut.edu.pl

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
al. Piastów 19, 70-310 Szczecin
tel.: 091 449 45 51, 091 449 43 46
faks: 091 449 43 46
e-mail: dzwimim@zut.edu.pl



2. Cel rozprawy i zadania szczegółowe

Wyniki dotychczasowych badań, w których uczestniczyła Doktorantka, jednoznacznie wskazują, że wprowadzenie dotychczas nieużywanych, rozdrobnionych porowatych materiałów węglowych jako napelniaczy w układach polimerowych otwiera nowe perspektywy w tworzeniu kompozytów polimerowo-węglowych o optymalnych właściwościach. Takie materiały kompozytowe mają potencjał zastąpienia tradycyjnych kompozytów polimerowych w zastosowaniach wymagających osłon, elementów o dużej twardości i odporności na ścieranie, lekkich i łatwych w przetwarzaniu części, a także komponentów tłumiących drgania i rozpraszających ładunki elektryczne lub ciepło. Szczególnie interesujące są kompozyty epoksydowe z pianką węglową jako napelniaczem, które mogą stanowić atrakcyjną alternatywę dla powszechnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych opartych na aluminium i stalach nierdzewnych, zwłaszcza w aplikacjach narażonych na tarcie i procesy zużycia.

Obecny stan wiedzy dotyczący powiązań między strukturą węglowych napelniaczy a właściwościami kompozytów polimerowych, zwłaszcza tych zawierających wysokouwęglone materiały porowate wykazuje istotne braki, co wskazuje na konieczność jego dalszego zgłębiania. Kluczowe jest więc określenie, jak oddziaływania powierzchniowe pianek węglowych z osnową polimerową wpływają na ostateczne właściwości kompozytów polimerowo-węglowych.

W związku z tym, zaproponowano główne cele pracy, z których poniekąd wynika hipoteza badawcza, której Doktorantka jednoznacznie nie określiła, a której można się dopatrywać tak w sformułowaniach we wstępie a także w Rozdziale 3. Cel i zakres pracy, tj.:

- zbadanie w jaki sposób ziarna pianki węglowej, zastosowane jako napelniacz osnowy epoksydowej, oddzielnie lub w konfiguracji z materiałem grafenowym, wpływają na właściwości końcowych kompozytów polimerowo-węglowych,
- wytworzenie i zbadanie binarnych kompozytów epoksydowych wzmocnionych materiałem grafenowym lub grafitem proszkowym.





W celu osiągnięcia głównych założeń pracy przeprowadzono następujące prace badawcze:

- Uzyskanie porowatych napelniaczy węglowych, obejmujących zarówno podstawową piankę węglową, jak i jej modyfikowaną wersję wzbogaconą nanopłatkami grafenowymi, które następnie zostały poddane rozdrobnieniu i segregacji na trzy frakcje ziarnowe;
- przeprowadzenie charakterystyki materiałów węglowych stosowanych jako napelniacze w kompozytach – zarówno samodzielnie otrzymanych pianek węglowych, jak i komercyjnych nanopłatków grafenowych oraz grafitu proszkowego – przy użyciu m.in. metod badawczych takich jak: pomiar gęstości, spektroskopie FTIR, spektroskopie Ramana itp.
- otrzymanie binarnych i hybrydowych kompozytów epoksydowo-węglowych;
- charakterystykę otrzymanych binarnych i hybrydowych kompozytów przy zastosowaniu takich metod jak m.in.: DSC, DMA, badanie gęstości, SEM, TGA, badania tribologiczne itp.

Cel rozprawy doktorskiej został sformułowany jasno i klarownie, a badania wykonane w ramach tych zadań nie budzą zastrzeżeń. Jednakże, moje niewielkie wątpliwości budzi fakt braku jednoznacznie pozostawione tezy lub hipotezy badawczej. Oczywiście można się jej doszukiwać w sformułowanym głównym celu pracy, jednak moim zdaniem powinna ona zostać sprecyzowana, gdyż przede wszystkim precyzuje kierunek badań, umożliwia weryfikację przyjętych teorii, ale też poprzez dobraną odpowiednio metodologię ułatwia wyznaczenie celów pracy i ich realizację.

3. Krótkie omówienie rozprawy doktorskiej

W ramach realizacji niniejszego przewodu doktorskiego zaprojektowano, wyprodukowano i przeanalizowano strukturę oraz właściwości binarnych kompozytów epoksydowych, w których zastosowano podstawową piankę węglową o różnych frakcjach ziarnowych, pozyskaną z usieciowanego prekursora epoksydowo/fenolowo-formaldehadowego, oraz piankę modyfikowaną nanopłatkami grafenowymi, a także





hybrydowych kompozytów epoksydowych, gdzie głównym napelniaczem była rozdrobniona podstawowa pianka węglowa, a dodatkowo do osnowy niezależnie wprowadzono komercyjne nanopłatki grafenowe. Przeprowadzone prace eksperymentalne zostały poprzedzone wyczerpującym przeglądem literatury przedmiotu, gdzie Doktorantka wyjaśniła pojęcia związane z kompozytami polimerowymi, w tym co należy rozumieć pod pojęciem kompozytu binarnego i czym się różni od kompozytu hybrydowego oraz scharakteryzowała nanonapelniacze stosowane w kompozytach. Następnie skoncentrowała się na omówieniu pianek polimerowych, ich budowie oraz metodach otrzymywania, właściwościach oraz zastosowaniu w materiałach polimerowych.

Warto podkreślić, że część teoretyczna została opracowana z najwyższą starannością i dbałością o szczegóły, a struktura pracy umożliwia bezproblemowe zapoznanie czytelnika z zagadnieniami badawczymi.

W pracach badawczych skupiono się na zaprojektowaniu i wytworzeniu, a następnie zbadaniu struktury i właściwości binarnych oraz hybrydowych kompozytów epoksydowych z różnymi frakcjami ziarnowymi podstawowej pianki węglowej, pianki, której szkielet węglowy został zmodyfikowany nanopłatkami grafenowymi, a także układów na bazie rozdrobnionej podstawowej pianki węglowej oraz komercyjnych nanopłatek grafenowych. W niniejszej pracy doktorskiej Doktorantka zastosowała jako napelniacze kompozytów epoksydowych następujące materiały węglowe: piankę węglową podstawową (CF), piankę węglową modyfikowaną nanopłatkami grafenowymi (CFGNP), nanopłatki grafenowe (GNPs) oraz grafit proszkowy (GR). Wszystkie zastosowane surowce do otrzymania pianek Doktorantka szczegółowo scharakteryzowała w rozdziale 4.1. Obydwa rodzaje pianek węglowych Doktorantka podzieliła w zależności od frakcji rozdrobienia, zaś metody otrzymywania obu pianek opisała w rozdziale 4.2. i przedstawiła na schemacie (Rys. 18). Jako osnowę kompozytów wykorzystano żywicę epoksydową Epidian 6 (Sarżyna Chemical sp. z o.o.) sieciowaną trietylenotetraaminą (TETA) również produkcji Sarżyna Chemical sp. z o.o.. Kompozyty binarne zostały wytworzone z żywicy epoksydowej jako osnowy





polimerowej oraz pojedynczego rodzaju napelniacza, zaś kompozyty hybrydowe/wielofazowe otrzymano stosując tę samą podstawę polimerową, wykorzystano jednocześnie dwa różne napelniacze węglowe – podstawową piankę węglową i nanopłatki grafenowe w różnych stosunkach ilościowych. Przy czym dodatkowo kompozyty hybrydowe wytworzono z użyciem dwóch metod różniących się od siebie kolejnością wprowadzania napelniaczy do osnowy, co również schematycznie przedstawiono na Rys. 13, 19 i 20. To schematycznie przedstawienie zarówno procesu otrzymywania, ale również zaproponowanych metod badawczych niezwykle ułatwiło śledzenie dyskusji wyników. Ponadto, wartym podkreślenia jest fakt iż przeprowadzone badania były starannie zaplanowane, a uzyskane wyniki zostały poparte zastosowaniem różnorodnych metod analitycznych. Zdobyta w ich ramach wiedza umożliwiła realizację założonego celu rozprawy doktorskiej.

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Tematyka pracy doktorskiej jest ciekawa i ważna z punktu widzenia pozyskania informacji na temat kompozytów epoksydowych z różnymi frakcjami ziarnowymi podstawowej pianki węglowej otrzymanej z usieciowanego prekursora epoksydowo/fenolowo-formaldehydowego oraz pianki, której szkielet węglowy został zmodyfikowany nanopłatkami grafenowymi, a także hybrydowych kompozytów epoksydowych, w których jako główny napelniacz zastosowano rozdrobnioną podstawową piankę węglową, a jako napelniacz dodatkowy komercyjne nanopłatki grafenowe wprowadzone do osnowy niezależnie od cząstek pianki. Kluczowym elementem rozprawy doktorskiej, poddawany szczegółowej analizie, są przedstawione wyniki badań, które mają stanowić unikalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Jestem w pełni przekonana, że przedstawione wyniki badań spełniają określone wymagania i potwierdzają zdolność Doktorantki do samodzielnego prowadzenia badań naukowych, krytycznej analizy uzyskanych danych oraz formułowania na ich podstawie istotnych wniosków. Świadczą o tym szczegółowy opis przeprowadzonych eksperymentów, omówienie rezultatów oraz wnioski końcowe, które dowodzą właściwego





zaplanowania i realizacji badań, prowadzących do osiągnięcia głównego celu pracy doktorskiej.

Pani mgr inż. Karolina Olszowska posiada w swoim dorobku aż szesnaście, wieloautorskich publikacji naukowych, przy czym w trzech jest główną autorką, ale szczególnie dwie prace są ściśle związane z tematyką rozprawy doktorskiej, tj. K. Olszowska, J. Pang, P. S. Wróbel, L. Zhao, H. Q. Ta, Z. Liu, B. Trzebicka, A. Bachmatiuk, M. Rummeli, „Three-dimensional nanostructured graphene: Synthesis and energy, environmental and biomedical applications”, *Synthetic Metals*, 2017, 234, 53-85, DOI:10.1016/j.synthmet.2017.10.014, oraz K. Olszowska*, M. Godzierz, S. Pusz, J. Myalski, A. Kobylukh, G. Georgiev, A. Posmyk, B. Tsyntsarski, U. Szeluga*, „Development of epoxy composites with graphene nanoplatelets and micro-sized carbon foam: Morphology and thermal, mechanical and tribological properties”, *Tribology International*, 2023, 185, DOI:10.1016/j.triboint.2023.108556. Obie powyżej wymienione prace Doktorantki charakteryzują się wysokim poziomem naukowym, co stanowi potwierdzenie jej umiejętności w zakresie planowania eksperymentów oraz prowadzenia badań, a także potwierdzają staranność oraz estetykę w opracowaniu wyników prac badawczych.

Przedstawione w recenzowanej pracy doktorskiej rezultaty badań wnoszą wg mnie elementy nowości w rozwoju nauki dotyczącej badań spektrum kompozytów epoksydowo-węglowych, zwłaszcza w ustaleniu zależności między strukturą i wielkością cząstek napelnacza, jego ilością, oraz metodą wytwarzania a wynikającymi z tego właściwościami mechanicznymi, termicznymi i tribologicznymi kompozytów. Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki zaliczyłabym:

1. Opracowanie pianki węglowej – podstawowej, z usieciowanej mieszaniny żywicy epoksydowej i fenolowo-formaldehidowej, oraz modyfikowanej, z dodatkiem 0,2% nanopłatków grafenowych, różniącej się strukturą i właściwościami: pianka modyfikowana wykazywała większą gęstość, mniejszą porowatość i grubsze ścianki





- porów, natomiast pianka podstawowa zawierała najwięcej grup funkcyjnych na powierzchni.
2. Wykazanie, że proces sieciowania kompozytów epoksydowo-węglowych jest niezwykle złożony i zależy od szeregu czynników, takich jak struktura i rozmiar cząstek napelniacza, ilość użytego napelniacza oraz metoda otrzymywania kompozytów.
 3. Wykazanie iż najkorzystniejszy wpływ na właściwości lepkosprężyste kompozytów miało jednoczesne zastosowanie napelniacza porowatego i nanonapelniacza grafenowego.
 4. Wykazanie iż wprowadzenie napelniaczy węglowych do osnowy epoksydowej ma zdecydowany wpływ na właściwości kompozytów, zaś zmiany parametrów takich jak współczynnik tarcia, ubytek masy oraz mechanizmy zużycia kompozytów zależą od rodzaju i ilości zastosowanych napelniaczy, ale również od obciążenia użytego w teście tarcia.

Do przedstawionych wyników, ale i pewnych sformułowań w pracy mam jednak kilka uwag i komentarzy, które nie wpływają znacząco na moja ogólną ocenę rozprawy doktorskiej:

1. Na stronie 7 Doktorantka definiuje pojęcie „kompozytu” za Encyklopedią PWN, definicją IUPAC, czy Broutmana i Krocka. Ponadto, zdefiniowane są kompozyty binarne oraz hybrydowe. Jednakże pomimo tych opisów, nie do końca jasnym jest po co wyodrębnić nazwę „kompozyt binarny”, który de facto jest z definicji kompozytem. Rozumiem wprowadzenie dodatkowego słowa „hybrydowy” gdy mówi się o dwóch rodzajach napelniaczy itp. Czy stosowanie definicji kompozyt binarny, oprócz ułatwienia odróżnienia go od hybrydowego jest jeszcze w jakiś sposób uzasadnione?
2. Strona 35, Rozdział 3. Doktorantka szczegółowo omawia cele i zakres pracy, jednakże zabrakło mi jednoznacznie postawione tezy/hipotezy badawczej. Rozumiem, że można się jej doszukać w opisie celu, jednak moim zdaniem warto byłoby ją sformułować.





3. Strona 40. Jako substancję sieciującą Doktorantka zastosowała 2-etylo-4-imidazol w postaci proszku. Czy rozważano zastosowanie innych imidazoli, np. w formie ciekłej, które zasadniczo łatwiej się mieszają z żywicami?
4. Tabela 1, strona 56, z jakiego powodu gęstość rzeczywista dla pianek podana jest z większą dokładnością niż np. dla grafitu proszkowego czy nanopłatków grafenowych. Może na potrzeby takiego zestawienia lepiej byłoby porównywać wartości przy takiej samej ilości miejsc znaczących.
5. Na podstawie zdjęć SEM, nasuwa się pytanie, czy Doktorantka planowała przeprowadzenie analizy TEM celem scharakteryzowania użytych napelniaczy ale i otrzymanych kompozytów?
6. Na stronie 70, Doktorantka stwierdza iż „ich wprowadzenie do osnowy epoksydowej spowodowało podwyższenie początkowej temperatury zeszklenia, przy czym największy wzrost (o 6 °C) stwierdzono dla kompozytu zawierającego 0,2 % wag. GNPs (tabela 4, rys. 26 C i rys. 28). Pozwala to na stwierdzenie, że dodatek nanopłatków przyspiesza reakcję sieciowania żywicy epoksydowej na wstępnym etapie sieciowania w porównaniu do wyjściowej osnowy epoksydowej”. Czy na etapie obserwacji przemiany α (przejścia szklistego) żywicy można wysnuwać wnioski na temat przyspieszenia sieciowania żywicy, zwłaszcza że przemiana szklista zachodziła w wyższej temperaturze?
7. Strona 74. Autorka w rzetelny sposób wyjaśnia co miało wpływ na zmiany gęstości kompozytów, tj. ilość napelniacza oraz jego rodzaj, czy stopień dyspersji. Czy brano pod uwagę gęstość usieciowania żywicy?
8. Strona 86. Moim zdaniem sformułowanie „temperatura piku $tg\delta$ ” jest odrobinie niefortunne. Raczej powinno się użyć w tym kontekście sformułowania typu „maksimum piku $tg\delta$ ” czy „temperatura α -relaksacji” itp.
9. Strona 92. Moim zdaniem sformułowanie „redukcja $tg\delta$ ” powinno być zastąpione sformulowaniem związanym z przesunięciem maksimum piku bądź zmniejszeniem wartości pola pod krzywą itp.





10. Strona 92. Doktorantka podaje wartość pojedynczej warstwy grafenu wynoszącej ok 1TPa, ale moim zdaniem zabrakło zacytowanej literatury, np. Science, 321 (5887) (2008), pp. 385-388.
11. Na podstawie rzetelnie przeprowadzonej analizy DMA i wysunięcia na jej podstawie interesujących wniosków na temat otrzymanych kompozytów nasuwa się pytanie, czy w ramach kontynuacji prac badawczych Doktorantka rozważała zastosowanie spektroskopii dielektrycznej w szerszym zakresie częstotliwości i temperatur celem jeszcze bardziej dogłębnej analizy otrzymanych materiałów?

Inne drobne uwagi oraz komentarze zostały zawarte w punkcie "Ocena formy redakcyjnej rozprawy".

5. Ocena formy redakcyjnej rozprawy

Pomimo niezwyklej staranności Doktorantka nie uniknęła drobnych błędów edytorskich, stylistycznych ani drobnych merytorycznych. Poniżej wskazuję przykłady takich uchybień:

1. W spisie treści niefortunnie numer strony nie jest zaznaczony na końcu linii ale od razu po tytule podpunktu, np. w p. 5.1. czy 5.2.5.
2. Na rys. 46 w podpisie osi OX, zamiast słowa temperatura, w niektórych miejscach wkradło się anglojęzyczne „temperature”.

Pomimo wspomnianych nieścisłości, pracę należy ocenić pozytywnie pod względem edytorskim, szaty graficznej oraz wykorzystanego piśmiennictwa. Na szczególną uwagę zwracają również schematy (rys. 18-20), które nie tylko w bardzo czytelny sposób prezentują zakres zrealizowanych prac badawczych ale również są zaprezentowane na bardzo estetycznie.

6. Podsumowanie recenzji

Na zakończenie recenzji chciałabym podkreślić, iż rozprawa doktorska Pani mgr inż. Karoliny Olszowskiej zatytułowana „Binarne i hybrydowe kompozyty epoksydowe z piankami węglowymi i materiałem grafenowym w roli napelniaczy”, przedstawia wyraźną wartość naukową oraz aplikacyjną, co jest szczególnie ważne przy awansie naukowym na





Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

stopień doktora nauk technicznych. Moja ostateczna ocena rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. mgr inż. Karoliny Olszowskiej jest bardzo pozytywna. Otrzymane wyniki badań wzbogacają wiedzę na temat otrzymania i scharakteryzowania binarnych i hybrydowych kompozytów epoksydowych, w których wytworzona przez Doktorantkę pianka węglowa oraz komercyjne nanopłatki grafenowe i grafit proszkowy zostały użyte w roli napelniaczy. Ma to ogromne znaczenie, ponieważ może umożliwić zastosowanie tych materiałów jako efektywnych magazynów energii cieplnej oraz jako węglowych podpór do nanoszenia magnetycznych nanocząstek, co pozwoli na produkcję kompozytów pochłaniających lub odbijających wysokoczęstotliwościowe promieniowanie elektromagnetyczne. Doktorantka wykazała się znajomością obsługi nowoczesnej aparatury analitycznej, umiejętnością planowania doświadczeń, analizowania i interpretacji uzyskanych danych oraz precyzyjnego formułowania wniosków.

Uważam że rozprawa doktorska spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane doktorantom określone w Ustawie z dnia 18 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie pracy doktorskiej Pani mgr inż. Karoliny Olszowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Sławo Polkiewicz

