



Prof. dr hab. inż. Dorota Czarnecka-Komorowska
Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Materiałów
Zakład Tworzyw Sztucznych
Wydział Inżynierii Mechanicznej
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Poznań, 17.03.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Roberta CIEŚLAKA

pod tytułem „Opracowanie technologii wytwarzania kompozytu polimerowego umocnionego zmodyfikowanymi poprodukcyjnymi proszkami żeliwa do zastosowań w armaturze wodnej”

przygotowanej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki w Katedrze Technologii Materiałowych Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie wykonanej pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Anny Biedunkiewicz oraz promotora pomocniczego dra inż. Pawła Figiel. Praca powstała w ramach Doktoratu wdrożeniowego przy wsparciu finansowym Ministerstwa Edukacji i Nauki (grant RPZP. 01.03.00-32-0004/17).

PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 03.12.2024 roku do przeprowadzenia czynności w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie Nauk Inżynieryjno-Technicznych w dyscyplinie Inżynieria materiałowa.

Ocenę pracy oparto na przekazanej w wersji drukowanej rozprawie doktorskiej.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska przygotowana jest w języku polskim; składa się z 5 merytorycznych rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim, oraz spisu literatury. Recenzowana praca obejmuje w sumie 108 stron, z czego 90 stron stanowi opis merytoryczny, a 18 stron to załącznik nr 1, będący odniesieniem do polskiej normy branżowej w zakresie badania armatury. W skład pracy wchodzi 87 pozycji literatury, 56 rysunków i 12 tabel. Dysertacja składa się z krótkiej części teoretycznej i zasadniczej eksperymentalnej, w tym dwóch rozdziałów (3-4) z opisem demonstratorów i badań technologicznych wybranych demonstratorów. W tej części pracy zabrakło spisu ważniejszych skrótów i oznaczeń stosowanych przez Doktoranta w pracy naukowej.

W części literaturowej rozprawy, w rozdziale pierwszym Doktorant opisał zasadność prowadzenia badań w zakresie opracowania sposobu recyklingu poprodukcyjnych wiórów żeliwa szarego powstających w procesie obróbki skrawaniem odlewów żeliwnych, produkowanych w zakładzie Wodrol z Wałcza, specjalizującej się w produkcji armatury wodnej i hydrantów pożarniczych. W rozdziale tym Doktorant przeprowadził analizę literatury w tematyce procesów produkcyjnych, tj. odlewanie żeliwa, cięcie i frezowanie wyrobów żeliwnych, oraz powstających w tych procesach odpadów wymagających utylizacji w postaci pyłów i wiórów, które stanowią około 5% masy odlewu. Ponadto Doktorant zwrócił uwagę na problemy, wynikające ze składowania złomu, które sprzyjają procesom korozji materiałów, tworzeniu się rdzy w postaci

tlenków żelaza na ich powierzchni, co istotnie podwyższa koszty ponownego użycia lub recyklingu utlenionego złomu. Autor podkreślił, że technologie recyklingu skorodowanego żeliwa należą do procesów wysoce emisyjnych, wymagających dużego nakładu energetycznego, a wsad w postaci złomu osiąga niską wartość rynkową. Ponadto, wióry po obróbce skrawaniem pokryte są olejem obróbczym i innymi zanieczyszczeniami, co niekorzystnie wpływa na efektywność recyklingu. Zatem recykling z wykorzystaniem metalurgii proszków może być jednym ze sposobów rozwiązania problemu zagospodarowania wiórów żeliwnych, które są cennym surowcem wtórnym składającym się głównie z żelaza oraz odpowiednio od 2,1 do 4% mas. węgla i 1-3% mas. krzemu. Doktorant scharakteryzował dwa sposoby recyklingu wiórów polegające na przekształceniu złomu wiórów metalowych w materiał lity na drodze przetapiania na wlewki odlewane lub produkty odlewnicze lub metodą bezpośredniej konwersji bez przechodzenia przez stan ciekły, należącą do jednej z metod metalurgii proszków.

Na podstawie przeglądu literatury Doktorant stwierdził, że problem środowiskowy odpadów poprodukcyjnych żeliwa szarego można trafnie rozwiązać stosując je, jako wypełniacze w osnowach polimerowych będących alternatywą dla materiałów metalowych. W porównaniu ze stalą i stopami niektórych metali kompozyty polimerowe charakteryzują się wyższą odpornością na korozję i niższą masą, co skutkuje niższymi kosztami eksploatacyjnymi. Kompozyty polimerowe znajdują coraz częstsze zastosowania w systemach rurociągowych, a odpowiedni dobór tych materiałów na rury obniża koszty i zużycie energii, a jednocześnie zapewnia bezpieczeństwo i stabilność systemu zaopatrzenia w wodę pitną oraz ochronę zdrowia użytkowników. Doniesienia literaturowe wskazują na duże zainteresowanie wykorzystaniem odpadowych wiórów żelaznych z obróbki skrawaniem, jako wypełniaczy w rozwoju kompozytów polimerowych wzmocnianych włóknami. W podrozdziale tym Doktorant zdefiniował i sklasyfikował kompozyty polimerowe, opisał stosowane napełniacze polimerowe i ich właściwości, scharakteryzował szczegółowo cechy fizyko-chemiczne żywicy epoksydowej w aspekcie zastosowań w procesach wytwarzania kompozytów z udziałem proszków żeliwa szarego.

W rezultacie Doktorant założył główny cel pracy, polegający na „**Opracowaniu prostej i ekonomicznej technologii wytwarzania kompozytu polimerowego umocnionego poprodukcyjnymi proszkami żeliwa do zastosowań w armaturze wodnej, przy założonym kryterium maksymalnego upakowania odpadowego proszku żeliwa szarego w osnowie polimerowej z zastosowaniem najprostszej procedury**”. Aby zrealizować przyjęty cel rozprawy przyjął cząstkowe zadania badawcze, polegające na:

- Opracowaniu nowego materiału pozwalającego na częściowe zastąpienie żeliwa szarego w procesie produkcyjnym armatury wodnej.
- Opracowaniu prostego sposobu recyklingu odpadów poprodukcyjnych żeliwa szarego pozostałego po obróbce skrawaniem.
- Opracowaniu kompozytu polimerowego umożliwiającego produkcję gotowych wyrobów handlowych armatury wodnej bez konieczności obróbki skrawaniem.

W rozprawie doktorskiej Doktorant sformułował również hipotezę badawczą, która zakłada, że „**Możliwe jest opracowanie kompozytu polimerowego, umocnionego poprodukcyjnymi proszkami żeliwa do zastosowań w armaturze wodnej, w oparciu o prostą technologię recyklingu odpadów poprodukcyjnych żeliwa szarego niewymagającą energochłonnej przeróbki wiórów poprodukcyjnych**”.

W mojej obiektywnej ocenie cel główny pracy jest sformułowany zwięźle, a cele cząstkowe zapewniają jego uszczegółowienie, więc zakładam, że można byłoby pominąć tezę pracy, która pokrywa się z założonym celem rozprawy.

W rozdziale drugim rozprawy, stanowiącym część eksperymentalną Doktorant opisał materiały i stosowane metody badań osnowy polimerowej i napełniacza oraz badania mechaniczne, korozyjne, cieplne kompozytów polimerowo-metalowych napełnionych odpadami z proszków żeliwa szarego. Przejął założenia wstępne i opisał sposób przygotowania kompozytów.

W rozdziale trzecim, kluczowym w aspekcie wdrożeniowym Doktorant na podstawie założeń projektowych i badań wstępnych wykonał demonstratory z kompozytów poprzez odlewanie w formach silikonowych i formie poliamidowej wyrobów produkowanych przez firmę Wodrol z żeliwa szarego GJL-250, tj. pokrywka skrzynki małej PEHD do nawiertki, kołnierz zaślepy DN 50 oraz króciec dwukołnierzowy FF 50x100.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił badania technologiczne zaprojektowanych dwóch demonstratorów (kołnierza i dwukołnierzowego króćca); przedstawił schemat stanowiska prób ciśnieniowych oraz opisał zasadę działania stanowiska do prowadzenia testów ciśnieniowych według normy PN-EN-ISO 12266-1 wykorzystanego do badania armatury wodnej i hydrantów pożarniczych w firmie Wodrol Wałcz.

Rozprawę kończy rozdział piątym, w którym Doktorant w sposób bardzo opisowy przedstawił wnioski końcowe z przeprowadzonych prac projektowych i eksperymentalnych. W obecnej formie przypominają one raczej podsumowanie pracy, a w punkcie pierwszym jej streszczenie. Na podstawie tego opisu należałoby zbudować syntetyczne wnioski naukowe o charakterze poznawczym i aplikacyjnym.

W tej części metodycznej pracy zabrakło algorytmu postępowania podczas planowania i prowadzenia badań, co na pewno poprawiłoby weryfikację danych przedstawionych w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

W mojej opinii treść pracy jest zgodna z jej przedmiotem i przyjętym przez Doktoranta tytułami rozdziałów. Wybór metody opracowania wyników badań został poprawnie przyjęty do realizacji celu lub/i tezy rozprawy.

1. SZCZEGÓŁOWA OCENA MERYTORYCZNA

W części badawczej rozprawy doktorskiej Doktorant opracował nową technologię wytwarzania kompozytów polimerowo-metalowych o osnowie z żywicy epoksydowej modyfikowanej metalowym napełniaczem proszkowym otrzymanym w procesie rozdrabniania wiórów żeliwa szarego EN - GJL 250-2, dostarczonych przez firmę Wodrol Wałcz. Wióry zostały oczyszczone z zanieczyszczeń, rozdrobnione przy użyciu młynka planetarnego, oraz osuszone w odpowiednich warunkach. Do wytworzenia kompozytów o 50% zaw. mas. napełniacza wytypowano frakcję proszków żeliwa szarego o wielkości ziarna <0,075 mm. W kolejnym etapie Doktorant opracował technologię sporządzania kompozycji żywica/proszek żeliwa szarego/utwardzacz z zastosowaniem mieszania mechanicznego pod ciśnieniem atmosferycznym, która zapewnia uzyskanie jednorodnej zawiesiny proszku w osnowie polimerowej. Finalnie, metodą odlewania grawitacyjnego w temperaturze pokojowej przygotowaną mieszaniną napełniano wykonane formy odlewnicze.

Na podstawie przeprowadzonych wcześniejszych badań eksperymentalnych Doktorant przyjął zasadnicze założenia technologiczno-materiałowe, wybierając na osnowę projektowanego kompozytu komercyjnej żywicy epoksydowej na bazie bisfenolu A i środek sieciujący - epoxyaminoaminę, zakładając 65% udział frakcji żeliwa w kompozycji. Autor dobrał parametry procesu sieciowania, tj. ciśnienie 0.01 MPa w procesie mieszania układu aż do całkowitego odgazowania i homogenizacji zawiesiny, oraz zaproponował podgrzewanie zawiesiny w temperaturze 130°C (tj. temperaturze wyższej niż temperatura sieciowania żywicy epoksydowej koło 102°C), celem obniżenia lepkości stopu i czasu sieciowania kompozytu. Ponadto przygotowaną w warunkach pokojowych zawiesiną napełniał formę odlewniczą wykonaną z poliamidu 6 i stali S235JRG2 w warunkach pokojowych. W następnym etapie ciekłą mieszaniną poddawał obróbce cieplnej, którą ochładzał do temperatury otoczenia.

Doktorant w rozprawie doktorskiej przygotował 4 serie próbek, tj.

- próbki referencyjne z żywicy epoksydowej formowane w temp. 130°C przez 90 min. i jej kompozyty z 65% zaw. mas. proszku żeliwa szarego (GCI) o wielkości ziarna < 0,075 mm.
- próbki kompozytu (ozn. pr 65 2/0), podgrzewane do temp. 130°C, bez ogrzewania izotermicznego w temp. 130°C.

- próbki kompozytu (ozn. pr 65 2/1), wygrzewane w temp. 130°C przez 60 min.
- próbki kompozytu (ozn. pr 65 2/1,5), wygrzewanie w temp. 130°C przez 90 min.

W części badawczej Doktorant poprawnie zaproponował eksperymentalny tok badań obejmujący w pierwszym etapie charakterystykę osnowy (żywica) i napełniacza (proszków żeliwa), a w drugim kompozytów polimerowo-metalowych. Metodami spektroskopii w podczerwieni (FTIR) i spektroskopii ^1H NMR odpowiednio określił czasu utwardzania żywicy i skład chemiczny składników kompozycji; metodą wiskozymetryczną określił lepkość żywicy, a techniką termogravimetryczną oznaczył zawartość substancji nietlotnej w żywicy epoksydowej, metodą miareczkowania kolorymetrycznego wyznaczył równoważnik epoksydowy (EE). Technika mikroskopowa ocenił strukturę proszków żeliwa (GCI), a proszki żeliwa szarego zidentyfikował metodą dyfrakcji promieni rentgenowskich. Ocenę porównawczą zawartości wolnego węgla w proszku żeliwnym przeprowadził metodą termoanalityczną z wykorzystaniem TG-DSC w połączeniu z MS do identyfikacji produktów gazowych. W zasadniczej części pracy Doktorant dokonał analizy morfologii i struktury uzyskanych kompozytów metalowo-polimerowych, wykorzystując mikroskop cyfrowy oraz elektroniczny mikroskop skaningowy SEM z EDS. Analizie poddał właściwości wytrzymałościowe, w tym rozciąganie, zginanie, ściskanie, udarność oraz twardość kompozytów, badania korozyjne, odporności termicznej i badania zużycia ślizgowego kompozytów wytwarzanych w różnych warunkach technologicznych. Wyniki swoich prac badawczych Doktorant szczegółowo opisał i zinterpretował graficznie w kolejnych podrozdziałach pracy.

W mojej opinii w pracy zabrakło osobnego, wyraźnego rozdziału zatytułowanego Wyniki badań, którym w pracy uważam powinien być rozdz. 2.3.-2.4. Istniejący układ pracy w pewien sposób zakłóca przebieg wnioskania i korelowania wyników badań naukowych.

W wyniku przeprowadzonych badań, w odniesieniu do składników kompozycji polimerowej Doktorant stwierdza, że analiza widm spektroskopowych wskazuje, że głównym składnikiem badanego układu jest żywica epoksydowa na bazie eteru diglicydyłowego bisfenolu-A (DGEBA)/bisfenolu-A, która jest mieszaniną DGEBA i jej oligomerów, o stosunku ilościowym monomeru do oligomeru wynoszącym 3,8:1, podczas gdy utwardzaczem żywicy epoksydowej jest izofofonodiamina (IPDA) i alkohol benzyłowy. Wyniki badań lepkości i zawartość substancji nietlotnych (NV) oraz równoważnik epoksydowy (EE) pokazały, że żywica epoksydowa wykazuje niską lepkość (920 cP w temperaturze pokojowej), zawiera stosunkowo dużą ilość substancji lotnych (ponad 24% mas.) i grup epoksydowych (EE = 192,38 g/mol). Reakcja sieciowania żywicy w temperaturze 130°C przez 3 min zachodzi bardzo szybko, do całkowitego utwardzenia wymaga 70 min. Żywica epoksydowa ma najwyższą wytrzymałość na rozciąganie, natomiast kompozyty typu GCI/żywica epoksydowa utwardzane w temperaturze 130 °C przez 60 i 90 minut mają najwyższą wytrzymałość na rozciąganie. Kompozyt niewygrzewany izotermicznie w temperaturze 130°C charakteryzował się najniższą wartością wytrzymałości na rozciąganie. Dłuższy czas nagrzewania kompozytu w temp. 130°C skutkowało wzrostem wytrzymałości na rozciąganie i sztywności. Najniższą wartość modułu Younga zanotowano w przypadku żywicy epoksydowej.

W odniesieniu do celu pracy, polegającego na wytworzeniu kompozytów metalowo-polimerowych o zastosowaniach wdrożeniowych Doktorant stwierdza, że: a) W porównaniu do żeliwa szarego kompozyty GCI/ żywica epoksydowa charakteryzują się znacznie niższą gęstością i większą odpornością na korozję, a w porównaniu do żywicy epoksydowej kompozyty wzmacniane proszkami żeliwa szarego cechują się większą wytrzymałością na rozciąganie, ściskanie i zginanie, a także sztywnością. Badania potwierdziły możliwość prostej, wysoce wydajnej i taniej metody wykorzystania odpadowego żeliwa w postaci proszku, b) Badania tribologiczne przeprowadzone metodą kula-tarcza w suchym powietrzu wykazały, że wśród kompozytów najmniejsze zużycie wykazuje kompozyt niewygrzewany izotermicznie Pr65 2/0, a wydłużenie czasu wygrzewania kompozytów sprzyja zużyciu ślizgowemu kompozytów w procesie tarcia. Zwiększenie nacisku i długości drogi nacisku w przypadku kompozytów nie powoduje zmiany współczynnika tarcia i jest on na stałym poziomie, c) Najlepszymi właściwościami mechanicznymi i korozyjnymi charakteryzował się kompozyt oznaczony symbolem Pr65 2/1,5, który utwardzano w temperaturze 130°C przez 90 min. (wytrzymałość na zginanie 55,4 MPa i wytrzymałość na ściskanie 53,8 MPa). Kompozyt ten jest stabilny termicznie,

jego temperatura rozkładu termicznego wynosi około 328°C, a ponadto w wodzie wodociągowej wykazuje szybkość korozji ponad trzykrotnie niższą od żeliwa stosowanego w praktyce do produkcji armatury wodociągowej. Kompozyt spełnia wymagania materiałów do produkcji drobnych elementów konstrukcyjnych armatury wodociągowej, takich jak pokrywy, skrzynki hydrantowe, kolana kanalizacyjne, łączniki, tuleje i inne, d) Kompozyty GCI/ żywica epoksydowa wykazują wyższą odporność na korozję w porównaniu z żeliwem. Kompozyt utwardzany w temperaturze 130°C przez 90 minut charakteryzuje się najwyższą odpornością na korozję. Dłuższy czas wygrzewania kompozytów zwiększa ich odporność na korozję elektrochemiczną. Szybkość korozji żeliwa w warunkach pomiaru była 3,3 razy wyższa niż szybkość korozji najbardziej odpornego kompozytu, e) Kompozyty charakteryzują się najwyższą odpornością cieplną. Różnica temperatury rozkładu kompozytów nie przekraczała 1,5 stopnia. Spośród kompozytów najlepsze właściwości miał kompozyt utwardzany w temperaturze 130°C przez 60 minut, a następnie kompozyt utwardzany w temperaturze 130°C przez 90 minut, f) Kompozyt ogrzewany w temperaturze 130°C przez najdłuższy czas, tj. 90 min., miał najwyższą wytrzymałość na ściskanie, podczas gdy żywica epoksydowa miała najniższą. Po usunięciu siły ściskającej materiał tego kompozytu powrócił do swoich pierwotnych wymiarów, podczas gdy kompozyt niewygrzewany izotermicznie w temperaturze 130°C został zniszczony w wyniku statycznego testu ściskania, g) Kompozyt utwardzany w temperaturze 130°C przez 90 minut charakteryzował się najwyższą wartością wytrzymałości w statycznych próbach zginania, podczas gdy kompozyt niewygrzewany w temp. 130°C najniższą. Wszystkie kompozyty charakteryzują się wyższą wartością modułu Younga w porównaniu z wartością modułu żywicy epoksydowej, h) Kompozyty GCI/ żywica epoksydowa mają wyższą odporność na korozję w porównaniu z żeliwem. Kompozyt utwardzany w temp. 130°C przez 90 minut charakteryzuje się najwyższą odpornością na korozję. Dłuższy czas wygrzewania kompozytów zwiększa ich odporność na korozję elektrochemiczną. Szybkość korozji żeliwa w warunkach pomiaru była 3,3 razy wyższa niż szybkość korozji najbardziej odpornego kompozytu, i) Wartością dodaną opracowanej technologii jest odgazowanie i homogenizacja proszków w mieszaninie żywicy epoksydowej i utwardzacza wspomagana próżnią, a następnie szybkie usieciowanie jednorodnej mieszanki już po 3 minutach w temp. 130°C. Nieosiągalny dotychczas 65% mas. udział proszków żeliwa szarego w żywicy epoksydowej zmniejsza ilość żywicy potrzebnej do procesu, zwiększa efektywność procesu utylizacji odpadów poprodukcyjnych wiórów żeliwnych, a tym samym zmniejsza koszty zagospodarowania szkodliwych dla środowiska odpadów i straty ponoszone przez producentów żeliwnych elementów konstrukcyjnych, j) W oparciu o najlepsze wyniki badań mechanicznych, korozyjnych i termicznych do badań w skali technicznej wybrano kompozyt GCI/epoksyd oznaczony symbolem Pr 65 2/1,5. Na podstawie opracowanych w skali laboratoryjnej warunków wytwarzania tego kompozytu wytworzono serię demonstratorów opracowanej technologii przeznaczone do komercjalizacji kompozytu. Wykonano pokrywkę skrzynki małej PEHD do nawiertki, kołnierz zaślepny DN 50 oraz króciec dwukołnierzowy FF50 x 100. Dwa z demonstratorów, które zgodnie z normą PN-EN 12266-1 wymagały potwierdzenia ich wytrzymałości poddano badaniom w próbach ciśnieniowych. Przeprowadzone badania wykazały, że demonstratory spełniają kryteria odbioru armatury wodnej zawarte w normie PN-EN 12266-1.

Uzyskane wyniki badań i ich analiza pokazały, że Doktorant udowodnił tym samym postawioną w pracy doktorskiej tezę, iż *„Możliwe jest opracowanie kompozytu polimerowego, umocnionego poprodukcyjnymi proszkami żeliwa do zastosowań w armaturze wodnej, w oparciu o prostą technologię recyklingu odpadów poprodukcyjnych żeliwa szarego niewymagającą energochłonnej przeróbki wiórów poprodukcyjnych”*.

Oryginalność rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalny przyczynek do projektowania i wytwarzania złożonych materiałów kompozytowych na bazie żywicy epoksydowej wzmocnionych zmodyfikowanymi poprodukcyjnymi proszkami żeliwa, o właściwościach mechanicznych do określonych zastosowań i wymagań producentów wyrobów konstrukcyjnych. Niewątpliwie podejście Doktoranta do badań jest kompleksowe i pozwala na wysoce praktyczne zastosowanie opracowanych rozwiązań do produkcji armatury wodnej.

Wartości poznawcze pracy

Recenzowana praca ma niewątpliwie charakter poznawczy, wynikający z aktualności poruszanych zagadnień dotyczących kompozytów polimerowo-metalowych, gospodarki odpadami poprodukcyjnymi, w kontekście wytwarzania kompozytów epoksydowych napełnianych proszkami z odpadowego żeliwa o zdefiniowanym przez Doktoranta składzie kompozycji, cechach mechanicznych i użytkowych.

2. SUGESTIE I UWAGI KRYTYCZNE ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr inż. Roberta Cieślaka obejmuje prace eksperymentalne prowadzące do opracowania technologii wytwarzania kompozytów polimerowo-metalowych do produkcji elementów konstrukcyjnych o zastosowaniach wdrożeniowych, co stanowi o dużej wartości rozprawy i wpisuje się w obszar dyscypliny inżynierii materiałowej. Pod względem edytorskim w pracy występują liczne błędne interpunkcyjne, np. nawisy, kropki zamiast przecinków w tabelach, stylistyczne, oraz wykorzystywanie kolokwializmów, np. diametralnie, incydentalne defekty, itp. Niektóre uwagi przywołuję w kolejności występowania w pracy:

- „Czysta żywica” poprawnie powinno być niemodyfikowana żywica,
- „Moguł” Younga (tabela 5, 6, 7), powinno być Moduł sprężystości wzdłużnej, itd.)

Doktorant często stosuje nieodpowiednią w pracy naukowej, specyficzną formę opisu materiałów, nazywając, np. kompozyty „Kombinacją materiałów”, a kruchą strukturę „kruchą naturą”, lub „Łącząc materiały o różnych właściwościach w nowy materiał Doktorant stwierdza, że taki materiał „łączy ich mocne strony i zmniejsza ich braki” albo, że „Jako komponenty kompozytowe żywice epoksydowe mają długą historię sukcesów”.

W pracy czasami pojawiają się pewne błędy merytoryczne (Str. 15), w zakresie materiałów polimerowych, np. w opisie kompozytów Autor „charakteryzuje kompozyty opierając się na matrycy, wzmocnieniu..., składzie i międzyfazie, nazywanej też interfejsem”. Zatem proszę Autora o wyjaśnienie tego zapisu.

Do grupy tworzyw termoplastycznych Doktorant zalicza „żywice” i tutaj wymienia ich przykłady: „polietylen (PE), polichlorek winylu (PVC), polipropylen (PP), polistyren (PS), politetrafluoroetylen (PTFE), szereg innych tworzyw. Wiadomo, że żywice zostały zaklasyfikowane do grupy duroplastów (żywice chemo-, temoutwardzalne).

Str. 43. Wyniki mikrostruktury kompozytów w postaci zdjęć SEM rys. 22 i 23 powinny być zamieszczone po wynikach badań wytrzymałościowych, bowiem przedstawiają one obrazy powierzchni przełomów powstałych w próbie statycznego. Doktorant na rys. 22 opisał, to, jako obrazy struktury trzech kompozytów, ozn. jako a/b/c, a zatem co przedstawiają pozostałe zdjęcia. Proszę o krótki komentarz.

Przedstawiona na str. 45 analiza struktury jest uzasadnieniem zmian właściwości mechanicznych kompozytów, której Doktorant nie wykorzystał przy interpretacji wyników wytrzymałościowych.

Str. 46. Rys. 25. Doktorant w opisie osi Y stosuje słownictwo anglojęzyczne, np. density, Oznaczenia osi na wykresach i opisy w tabelach powinny być w języku, w którym jest napisana praca naukowa. Ponadto opisy krzywych są niekiedy słabo wyraźne i nieczytelne. Proszę o krótki komentarz, co przedstawia dodatkowy rys. „picture in picture”?

Str. 47. Doktorant przeprowadził badania statycznego rozciągania kompozytów wg normy PN-EN ISO 527 z prędkością rozciągania 5 mm/min. Proszę uzasadnić wybór takich warunków pomiaru. Ponadto proszę określić liczebność próby i podać wymiary próbek. Proszę uzasadnić wpływ prędkości rozciągania na charakter krzywych naprężenie-odkształcenie materiałów polimerowych?

Str. 48. Doktorant napisał, że „Wyniki wskazują na korzystny wpływ nagrzewania do temperatury 130°C i czasu nagrzewania kompozytu na właściwości mechaniczne podczas stabilnej próby rozciągania”. Nie podjął próby jednak uzasadnienia tego wniosku, zatem proszę o uzasadnienie wpływu czasu wygrzewa na wytrzymałość i strukturę badanych kompozytów.

Ogólnie Doktorant jest niekonsekwentny w dokładności zapisów wartości liczbowych w tabelach 5, 6 wyników badań (przypadkowa liczba miejsc znaczących).

Str. 48. Błędy w opisie wyników, np. „zaobserwowano istotne różnice pomiędzy wartościami modułu Younga oraz niewielkie różnice pomiędzy wartościami wytrzymałości...”, w takich przypadkach należy podawać mierzalne wartości procentowe.

Str. 52. Doktorant przedstawił wyniki badania udarności Charpy w kJ/m^2 (rys. 31). Nie podał informacji dotyczącej metodyki obliczania udarności próbek; Jaka była liczność próbek i z czego wynika tak duże odchylenie standardowe (około 10 kJ/m^2) w przypadku próbek z żywicy epoksydowej w porównaniu z kompozytami. Proszę o krótki komentarz.

Str. 52. „Wartości twardości kompozytów są wyższe niż materiału żywicy epoksydowej. Wartości te wahają się w granicach od 75 do 80”. W jakich jednostkach wyrażona została ta cecha? Czy zastosowana technika pomiaru twardości dla kompozytu epoksydowego modyfikowanego proszkiem żeliwnym o wielkości ziarna $< 0,075 \text{ mm}$ jest poprawna? Czy można byłoby w tym przypadku zastosować inną technikę pomiaru twardości materiałów polimerowych?

Str. 56. Na podstawie badań (rys. 56). Porównując krzywe DSC kompozytów z niemodyfikowaną żywicą Doktorant sformułował wniosek, że „Dodatek żeliwa przesuwają maksimum piku egzotermicznego od 22,3 do 23,8 stopni”. Proszę podać przyczynę tego zjawiska?

Str. 61. Wszystkie jednostki w pracy naukowej powinny być zgodne z układem SI, tj. np. ciśnienie w MPa, str. 61 (10/16 bar). Tabela zamieszczona na tej stronie jest nieczytelna, z powodu niskiej rozdzielczości tekstu.

Str. 62. Niekiedy zapisy Doktoranta przypominały zapisy do raportu badań, np. „Po zastąpieniu silikonu naroży zreformować model”...a nie opisy w pracy naukowej.

Str. 66, Na rys. 44-46, 48 zamieszczono zdjęcia, bez wyraźnej podziałki.

Ponadto, Doktorant w rozprawie nie zastosował głębszej analizy statystycznej, która pomogłaby zrozumieć dane, wydobyć z nich użyteczną informację pomocną podczas interpretacji wyników badań eksperymentalnych.

Powyższy zbiór uwag i komentarzy ma charakter dyskusyjny, wynikający m.in. z szerokiego obszaru badawczego rozprawy realizowanego w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych nie pomniejsza pozytywnej opinii o pracy, a potwierdza, że ta część pracy została przygotowana dogłębnie i w pełni spełnia wymagania wdrożeniowe, co do potencjalnych zastosowań przemysłowych.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W oparciu o przeprowadzoną ocenę rozprawy doktorskiej, uwzględniając dużą wartość aplikacyjną pracy, oraz oryginalne podejście do rozwiązania problemu naukowego w zakresie przeprowadzonych prac technologiczno-materiałowych, oraz wykazanie się przez Doktoranta dużą wiedzą praktyczną w zakresie realizowanej tematyki rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

Rozprawa doktorska mgra inż. Roberta Cieślaka zatytułowana „**Opracowanie technologii wytwarzania kompozytu polimerowego umocnionego zmodyfikowanymi poprodukcyjnymi proszkami żeliwa do zastosowań w armaturze wodnej**” spełnia aktualne przepisy (art. 187 ust. 1-3 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony. Zakres rozważań rozprawy kwalifikuje ją do dziedziny nauk inżyniersko-technicznych i dyscypliny Inżynieria Materiałowa według klasyfikacji dziedzin i dyscypliny określonej w rozporządzeniu z dnia 20 września 2018r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1888).

