

Katowice, 02.05.2023 r.

Dr hab. inż. Mateusz Kozioł prof. P. Ś.
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Materiałowej
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Do:
Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Politechnika Warszawska

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. "Wpływ kopoliamidowych włókien z nanorurkami węglowymi na właściwości polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknami węglowymi"
napisanej przez pana mgr inż. Kamila Dydka

Dyscyplina naukowa w której będzie broniona rozprawa:
inżynieria materiałowa

Wstęp – charakterystyka rozprawy

Tematem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest wpływ wprowadzenia kopoliamidowych włókien zawierających nanorurki węglowe do struktury polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknami węglowymi, na wybrane właściwości tychże kompozytów. Temat modyfikowania struktur kompozytowych jest tematem aktualnym. Kompozyty polimerowe, w tym te wzmacniane włóknem węglowym od przeszło dwudziestu lat regularnie zwiększają swój wolumen o kilkanaście do kilkudziesięciu procent rocznie. W wielu przypadkach kompozyty wzmacniane włóknem węglowym są przewidywane na konstrukcje o ekstremalnych wymogach obciążeniowych, dla których liczy się bardzo wysoka i powtarzalna jakość. Materiały na wyroby tego typu raczej nie mogą być w żaden sposób modyfikowane. Jest też jednak duża grupa wyrobów mniej odpowiedzialnych konstrukcyjnie, ale mających cechować się niską masą, odpornością środowiskową i pełnić dodatkowe funkcje – np. ekranować pola magnetyczne. Właśnie technologia takich grup wyrobów może być odbiorcą wyników badań recenzowanego doktoratu.

Rozprawa została napisana przez pana mgr inż. Kamila Dydka pod kierunkiem pani prof. dr hab. inż. Anny Boczkowskiej (promotor) oraz pani dr inż. Pauliny Latko-Durałek (promotor pomocniczy) z Politechniki Warszawskiej.

Rozprawa stanowi spójne dzieło o układzie klasycznym, składa się ze 158 stron tekstu bez załączników. Treść pracy zawiera się w ośmiu numerowanych rozdziałach. Jest podzielona na dwa rozdziały wprowadzające, obejmujące wstęp i przegląd literatury (33 strony), rozdział przedstawiający cel i zakres pracy (2 strony), dwa rozdziały przedstawiające badane materiały i opisujące ich wytworzenie (11 stron), rozdział opisujący metodykę badań (11 stron), rozdział omawiający wyniki badań (60 stron) oraz rozdział podsumowujący (3 strony). Główny wywód jest poprzedzony streszczeniami w języku polskim i angielskim, spisem treści oraz spisem ważnych skrótów i symboli. Wieńczą go z kolei spis rysunków, spis tabel oraz bibliografia. W pracy zawarto łącznie 69 rysunków oraz 29 tabel. Bibliografia obejmuje 310 pozycji – są to artykuły, książki oraz strony internetowe. Cechuje je szeroki zakres czasowy, jednak większość pozycji to pozycje aktualne, kilku – kilkunastoletnie.

Należy podkreślić, że praca została wydana w godnej podziwu formie monografii, zestandaryzowanej dla Politechniki Warszawskiej. Jest to wspaniały (miejmy nadzieję) precedens dla wydawania prac doktorskich.

Ogólna ocena rozprawy

Rozprawa jest bardzo dobrze napisana od strony edycyjnej. Autor zachował powtarzalny styl nagłówków, każdy nowy rozdział zaczyna się od nowej strony. Struktura tekstu jest przejrzysta i nie budzi zastrzeżeń. Autor przyjął klasyczny system odnośników bibliograficznych w nawiasach kwadratowych, numerowanych według kolejności cytowania w tekście. Wszystkie pozycje są zacytowane prawidłowo. Sam spis bibliografii zawiera porządnie opisane pozycje, wraz z pełnymi tytułami artykułów i numerami DOI (dla pozycji, którym takowe przypisano). Chyba jedynym odstępstwem od ideału jest brak dat dostępu przy cytowanych źródłach internetowych. Tak, czy inaczej nie wspominając nawet o wyjątkowej elegancji monograficznego wydania całości, za edycję i formatowanie tekstu należy autora pochwalić.

Język pracy jest bardzo dobry – poprawny, jasny i precyzyjny, bez zauważalnego slangu branżowego itp. Aczkolwiek, w trakcie czytania da się zauważyć nielicznie występujące skróty myślowe autora, np. "Temperatury te zostały pogrubione w Tabeli 14" na stronie 75.

Abstrakty w sposób syntetyczny, ale wyczerpujący przedstawiają treść pracy i pokazują najważniejsze efekty uzyskane w badaniach. Pozostawiają bardzo dobre wrażenie. Również bardzo dobrze należy ocenić przegląd literatury. Autor prawidłowo zastosował koncepcję "konar-gałążliść", tzn. sprawnie i odpowiednio skrótowo wyszedł od fundamentalnych zagadnień leżących u podstawy prowadzonego wywodu (laminaty wzmacniane włóknami węglowymi), przeszedł po kolei do szczegółów i rozprawił się z wszystkimi komponentami tematu rozprawy. Tak powinno się to robić. W mojej opinii na szczególne wyróżnienie zasługuje część wprowadzająca dotycząca przewodzenia elektrycznego kompozytów warstwowych z ciągłym włóknem węglowym. Jest to wywód napisany na tyle dobrze, że stanowi świetny syntetyczny materiał dydaktyczny, pozwalający nabyć i/lub usystematyzować wiedzę w przedmiotowym temacie zarówno studentowi, jak i profesorowi. Bibliografia użyta we wprowadzeniu jest bogata i aktualna. W nielicznych przypadkach autor, opisując bardzo fundamentalne zagadnienia (np. utwardzanie epoksydów) odnosi się do pozycji traktujących o jakimś wąskim problemie, zamiast odnieść się do pozycji o charakterze podręcznikowym. Należy jednak podkreślić, że za każdym razem zakres tematyczny pozycji jest zgodny z powołującą się treścią. Ogólnie, wprowadzenie teoretyczne jest w recenzowanej rozprawie na bardzo wysokim poziomie.

Cel użytkowy pracy sformułowany bardzo dobrze, jest on precyzyjnie określony i nie budzi wątpliwości. Cel naukowy pracy nie jest w mojej opinii idealnie dopasowany do działań opisanych w pracy. Należałoby go doprecyzować, np. poprzez dodanie sekwencji "...przy zastosowaniu przewodzących włókien termoplastycznych zawierających nanorurki węglowe". Zakres pracy opisano syntetycznie, ale bardzo przejrzysto i precyzyjnie. Całość celu i zakresu, poprzedzona wprowadzeniem, bardzo dobrze wyjaśnia przesłanki do podjęcia badań oraz plan ich realizacji. Pozwala też zwiualizować sobie spodziewane efekty końcowe.

Opis wytworzenia materiałów do badań również jest w wykonaniu autora bardzo dobry, systematyczny i precyzyjny. Jedynym niezbyt jasno przekazany zagadnieniem jest tu rozbieżność na dwa podrozdziały opisu wytwarzania włókien – najpierw koncentrat, potem przetwarzanie koncentratu. Napisano, że koncentrat wytworzyła firma Nanocyl, nie określono, czy było to jakieś indywidualne specjalne zamówienie, czy też zastosowane koncentraty są regularnymi produktami dostawcy.

Metodyka badań oraz wyniki zostały bardzo dobrze i przejrzysto ułożone w odrębnych podrozdziałach. Autor zachował konsekwencję w układzie podrozdziałów metodyka-wyniki, dzięki czemu czytelnik nie ma problemu ze sprawnym odnalezieniem szczegółów metodycznych przy czytaniu omówienia wyników.

Analizy wyników na ogół prowadzone są przez autora dobrze, ale są wyjątki – np. analiza połączenia wzmacniających włókien węglowych z włókniną nanokompozytową (rozdziały 7.2.1, 7.3.1 i 7.4.1) jest zrobiona dość pobieżnie. Na zdjęciach SEM nie do końca widać co tak naprawdę otacza włókna – czy to stopiona włóknina, czy utwardzony epoksyd stanowiący w końcu osnowę badanych kompozytów. Nie opracowano metodyki i nie zbadano kwestii mieszania/przenikania/dyfuzji osnowy i nanokompozytu (czyli – perkolacji tych dwóch faz). Taka analiza bardzo pomogłaby rzetelnie wyjaśnić i zrozumieć mechanizm tworzenia ścieżek w badanym typie zmodyfikowanych laminatów, co ogromnie podniosłoby wartość prezentowanych wywodów. Pewne rozjaśnienie tej kwestii (ale tylko dla jednego z analizowanych przypadków) mamy w rozdziale 7.5.2 na stronach 107 - 108. We wszystkich rozdziałach dotyczących obrazowania mikrostruktury autor stwierdza występowanie efektywnych (lub mniej efektywnych) ścieżek przewodzenia stworzonych z nanorurek i ich aglomeratów, jednak nie podjął się próby zobrazowania takiej ścieżki. Wyniki uzyskane w pracy wykazują znaczący wkład w przedmiotowe zagadnienie – przykładem może być dyskusja z rozdziału 7.2.2 ze strony 84, gdzie rzeczowo i precyzyjnie wyjaśniono różnice uzyskanych wyników z wynikami z pozycji bibliograficznej nr [33]. Również w tym względzie wyróżnia się ocena wpływu starzenia na mikrostrukturę i właściwości laminatów infuzyjnych z rozdziału 7.5 oraz dyskusja i wnioski z wyników badań reologicznych. Wyniki wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe, uzyskane metodą krótkiej belki (wg ASTM D2344) wskazują na bardzo duże wartości tego parametru (oscylujące od 75 do ponad 80 MPa), porównywalne z uzyskiwanymi dla wysokojakościowych laminatów formowanych w autoklawie. Należy zwrócić uwagę, że metoda krótkiej belki jest obciążona dużym błędem wynikającym z każdorazowego udziału w zmierzonych wynikach komponentu zginania – w recenzowanej rozprawie widać to np. na rysunkach 37 oraz 55(d). Realne wartości wytrzymałości na ścinanie są dużo niższe i dla laminatów węglowych wysokiej jakości rzadko przekraczają 40 MPa. W mojej opinii bardziej wiarygodną próbą wyznaczania wytrzymałości laminatów na ścinanie międzywarstwowe jest rozciąganie podwójnie naciętej belki. Ogólnie rzecz biorąc, wyniki pracy jako całość pokazują w miarę rozsądny trend, wskazujący na korzystne działanie włókien kopoliamidowych na właściwości badanych laminatów. Jednakże cząstkowe analizy w większości przypadków nie są jednoznaczne i trendy nie są w nich oczywiste. Należy podkreślić, że autor bardzo sprawnie wyjaśnia niejednorodność trendów i sublimuje z

poszczególnych analiz przypadki, które finalnie zebrane razem tworzą wnioski końcowe wskazujące dobrze określony kierunek.

Na pozytywną ocenę zasługuje podsumowanie oraz wnioski z pracy. Pokazują one w syntetyczny sposób zarówno uzyskane efekty, jak i złożoność podjętych działań. Należy jednakże zauważyć, że wnioski są sformułowane dość optymistycznie. Uzyskane wyniki są istotnym osiągnięciem z punktu widzenia inżynierii materiałowej. Jednakże, z punktu widzenia czysto utylitarne nie można ich uznać za rewolucyjne. Poprawa przewodności nieźle przewodzącego (co stwierdzono eksperymentalnie w ramach rozprawy) laminatu o maksymalnie niecałe 200% może nie być wystarczającym powodem do modyfikowania (czytaj znacznego komplikowania i podrażania) procesów wytwarzania wyrobów z laminatów o procedury wprowadzania włókien. Niemniej jednak pewne zastosowania (istniejące lub przyszłe) mogą wymagać przewodności laminatów jako właściwości priorytetowej i wtedy wyniki oraz umiejętności nabyte podczas realizacji recenzowanego doktoratu staną się bardzo cenne.

Należy podkreślić, że zapoznanie się z całością treści rozprawy bez wątpliwości pozwala stwierdzić, że mamy do czynienia z bardzo wartościowym dziełem naukowym. Począwszy od koncepcji, która dotyczy aktualnego i innowacyjnego zagadnienia, poprzez doskonale zaprojektowaną metodykę, obejmującą zarówno część technologiczną (wytworzenie materiałów do badań), jak i badawczą, skończywszy na wnikliwej analizie bardzo obszernego zbioru wyników i wyciągnięciu wartościowych wniosków, praca prezentuje wysoki poziom. Bez wątpienia wynika on z silnego zaangażowania doktoranta oraz osób z nim współpracujących w realizację pracy. Efektem podjętych działań są zarówno konkretne wnioski optymalizacyjne dla włókien nanokompozytowych przeznaczonych do stosowania w laminatach epoksydowo-węglowych wraz ze sposobem ich aplikacji, ale i spory zasób wiedzy płynący z pełnego zakresu eksperymentów, niekoniecznie skutkujących wynikami gwarantującymi wdrożenie. Odbiór tego dzieła przez czytelnika zainteresowanego przedmiotową tematyką będzie z pewnością mocno pozytywny.

* * * *

Pomimo że całość pracy, w tym koncepcja badań oraz wyniki są bez wątpienia wartościowe i stanowią ważny wkład w stan zagadnienia, autorowi nie udało się uniknąć szeregu błędów i niedociągnięć. Szczegółowe uwagi krytyczne dotyczące treści rozprawy zostały przedstawione w odrębnym rozdziale recenzji.

Szczegółowe uwagi krytyczne

Uwagi krytyczne, które nasunęły mi się podczas recenzowania rozprawy, zostały podzielone na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza obejmuje pytania do doktoranta, na które oczekuję odpowiedzi przed lub podczas obrony rozprawy. Druga grupa obejmuje uwagi ogólne i językowe, na które nie oczekuję odpowiedzi od doktoranta - zostały one zebrane w załączniku do recenzji.

Uwagi szczegółowe wymagające komentarza ze strony doktoranta

Objaśnienie oznaczeń:

S - strona nr

L – linia nr (g – od góry, d – od dołu)

S25 dół – S26 góra: zamieszanie w objaśnieniu przewodzenia prądu przez napełniony polimer – nie do końca wyjaśnione pojęcia hopping-przeskakiwanie elektronów-tunelowanie i relacje między nimi; proszę o precyzyjne objaśnienie.

S48 rysunek 13: ten schemat nie jest do końca jasny; proszę o sporządzenie i przedstawienie jaśniejszego schematu z bardziej precyzyjnym opisem.

Rozdział 6.5 i dalej: jaki był cel przeprowadzenia analizy TGA? W tekście brakuje dobrego i spójnego uzasadnienia dla tych badań, bardzo proszę o jego przedstawienie.

Proszę uzasadnić (w oparciu o funkcjonujące w literaturze definicje), że użycie w pracy terminu "nanokompozyty" dla badanych kompozycji kopoliamidów z nanorurkami węglowymi jest prawidłowe.

S66L2g: czy na serio używano wahadła 300J? Jakie były wymiary próbek? Może chodzi o zakres młota (największe wahadło obsługiwane przez młot), a wasze badania były wykonywane na mniejszym wahadle?

S81 i 88 rysunek 32 i 38: na obrazach pokazujących laminat z wprowadzonymi włókninami widać ewidentne zaburzenie równoległości pasm włókien. Pisze pan, że ciemne obszary powodujące te zaburzenia to "obszary termoplastyczne", które są "rozmieszczone losowo, ponieważ włókna z włóknin są również rozmieszczone losowo". Nie jest dla mnie jasne, o co w tym opisie chodzi. Proszę o precyzyjne wyjaśnienie kwestii wpływu termoplastycznych międzywarstw na równoległość pasm włókien wzmacniających i na stochastyczność tego wpływu.

S85L2g: "W przypadku laminatu referencyjnego, po osiągnięciu maksymalnej siły próbki pękały w sposób kruchy, natomiast laminaty z dodatkiem kopoliamidowych włóknin po osiągnięciu maksymalnej siły odkształcały się plastycznie" – proszę o wyjaśnienie, jak powyższy opis zniszczenia próbek ma się do ŚCINANIA MIĘDZYWARSTWOWEGO, które wyznaczał pan w omawianych próbach.

S91L3d: "Warto również dodać, że dla L_G1566 oraz L_G1330 wzrost ten uzyskano dla kilkuprocentowego niższego udziału objętościowego CFs w kompozycie." – proszę o wyjaśnienie tego zapisu.

S100L1g: "wzrost zawartości MWCNTs wprowadzonych do laminatu L_10_21.5 nie wpłynął pozytywnie na poprawę przewodności w porównaniu z L_10_15.0, gdyż wyższa gramatura włókniny jest skorelowana z większą grubością końcową laminatu, a w rezultacie – większy udział dielektrycznej żywicy epoksydowej" – według opisu na wstępie rozdziału wzrost grubości laminatu wynika ze zwiększenia udziału (przewodzącego prąd) nanokompozytu; z podstawowych założeń pracy wynika, że ilość żywicy-osnowy nie ulega zmianie (prepreg); proszę o wyjaśnienie powyższego zapisu.

S126L1d: "zgodnie z literaturą należałoby się spodziewać wzrostu udarności ze względu na degradację osnowy polimerowej" – kontrowersyjne stwierdzenie; bardzo proszę o precyzyjne wyjaśnienie tego zapisu z odniesieniem do "literatury".

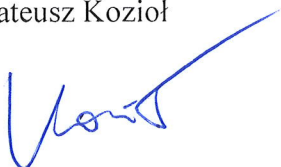
Ogólne wnioski z pracy (i dane z S8L1g i S8L12d): czy z technicznego punktu widzenia poprawa przewodności badanych laminatów odpowiednio o 184%, 69,6% i 104,8% to dużo, czy mało? Proszę o komentarz z uzasadnieniem.

Podsumowanie oceny rozprawy i wnioski końcowe

Pomimo krytyki oraz zawartej w tekście rozprawy pewnej ilości różnego typu błędów i niedociągnięć, o niefundamentalnym znaczeniu, należy zwrócić szczególną uwagę na bardzo wartościowe wyniki badań, na bogactwo zastosowanych metod i dużą ilość pracy włożoną w realizację tych wszystkich działań. Innowacyjny „kręgosłup” rozprawy, w postaci wytworzenia oraz kompleksowej eksperymentalnej oceny zmodyfikowanych laminatów epoksydowo-węglowych, stanowi w mojej opinii solidny, obszerny i wartościowy wkład w stan zagadnienia, a jednocześnie dowodzi dużej dojrzałości naukowej autora. Nie mam wątpliwości, że wszystkie elementy wymagane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym Oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (ze szczególnym uwzględnieniem art. 13) z późniejszymi zmianami są w treści pracy spełnione. Wobec powyższego, po wnikliwej analizie wyników przeprowadzonej oceny, pragnę sformułować dwa wnioski podsumowujące:

- 1) opiniuję przedstawioną rozprawę **pozytywnie** i rekomenduję dopuszczenie jej do dalszego procedowania w przewodzie doktorskim, w dyscyplinie inżynieria materiałowa,
- 2) wnioskuję o **wyróżnienie** rozprawy przez Radę Dyscypliny.

Mateusz Kozioł



**Załącznik do recenzji rozprawy doktorskiej pt. "Wpływ kopoliamidowych
włókien z nanorurkami węglowymi na właściwości polimerowych
kompozytów wzmacnianych włóknami węglowymi"
napisanej przez pana mgr inż. Kamila Dydka**

Uwagi szczegółowe nie wymagające komentarza ze strony doktoranta

S8L5d: "Testy wykazały, że opracowana w ramach niniejszej pracy modyfikacja polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknem węglowym charakteryzuje się lepszymi właściwościami użytkowymi" – lepszymi od czego? Dziwna konstrukcja językowa.

S8L6g: "przeanalizowano wpływ powierzchniowego udziału włókien we włókninie domieszkowanej nanorurkami węglowymi oraz ilości wprowadzonych nanorurek" – wpływ na co?

S20 tabela 4: "Żywica fenolowa" – raczej żywica fenolowo-formaldehydowa.

S21L9g: raczej "materiałów kompozytowych" lub "kompozytów polimerowych" zamiast "tych materiałów".

S22L7g: "Autoklawy są jednak drogie, co wiąże się z wysokimi kosztami eksploatacji" – zdanie nie do końca logiczne.

S26L12g (i wcześniej S8L12d): "w poprzek grubości laminatu (kierunek Z)", "w kierunku poprzecznym do grubości laminatu" – moim zdaniem powinno być "w kierunku grubości laminatu"; w przyjętym przez autora układzie odniesienia poprzeczne do grubości są kierunki X i Y.

S35L5g: "Wysokiej jakości materiały na bazie nanorurek są pożądane zarówno do zastosowań podstawowych, jak i technologicznych" – nie wyjaśniono co oznaczają zastosowania "podstawowe" i "technologiczne"; zapewne skrót myślowy autora.

S35L15g: "rozwój dogłębnego zrozumienia" – dziwna konstrukcja językowa.

S36L2g: gazy też są lotne.

S36L4d: "jak również właściwości termicznych tj. Temperatury zeszklenia CFRPs" – dyskusyjna kwestia temperatury zeszklenia CFRPs; temperatura zeszklenia dotyczy polimerów i wiąże się z konkretnymi mechanizmami następującymi w łańcuchach; w kompozycie – pomimo ewidentnego efektu makroskopowego – pojęcie "temperatura zeszklenia" może dotyczyć wyłącznie osnowy.

S37L6g – 16g: prawdopodobnie cały ten opis powinien trafić do akapitu niżej (osadzanie CNTs na powierzchni CFs).

✓

S39L8g: "niezwykłe" – lepsze byłyby "bardzo dobre" albo "szczególnie dobre".

S42L8d i dalej w tekście: nazwa metody w formie podstawowej zamiast "melt-blown" powinna brzmieć "melt-blowing".

S43 rysunek 12: obraz nieznacznie ściśnięty w kierunku horyzontalnym.

S44L8g: "Zastosowanie takiego tworzywa [kopoliamidu PA6/PA66–PA11] zapewnia kompatybilność włókniny do żywicy epoksydowej" – przydało by się jakieś proste objaśnienie chemiczne.

S45L1d: "rząd wprowadził rygorystyczne przepisy przeciwko stosowaniu EMI w różnych branżach" – raczej wprowadził obowiązek zapobiegania albo ekranowania EMI.

S46L13g: "Poza konwencjonalnymi, lądowymi turbinami wiatrowymi, ich morskie odpowiedniki w ciągu ostatniej dekady stały się istotnym elementem współczesnych farm wiatrowych" – myślę, że same łopaty turbin nie będą się konstrukcyjnie znacząco różnić; myślę też, że turbiny morskie tworzą całe farmy, a nie są ich elementem.

S46L16g: "Niższy poziom hałasu" – poziom hałasu pewnie będzie podobny, ale nie będzie uciążliwy dla ludzi ze względu na odległość.

S46L7d: "ochrona przeciw piorunowa" – raczej "ochrona przeciwpiorunowa", a najlepiej "ochrona odgromowa".

S50 tabela 7: w opisie tabeli, ani w tekście nie podano, czy dane pokazane w tabeli pochodzą z kart technicznych produktów, czy zostały wyznaczone eksperymentalnie.

S50L6d: zamiast powoływać się na artykuł [238] należało się powołać na kartę techniczną nanorurek (co zrobili autorzy w artykule [238]).

S50L7d: "wykorzystano dwuskładnikowy system żywicy epoksydowej L [...] oraz aminowy utwardzacza GL-2" – błąd literowy; raczej wykorzystano układ dwuskładnikowy żywica L + utwardzacz GL-2.

S50L5d: "Stosunek masowy żywicy do utwardzacza wynosił 100:30, co pozwala na 210 min czasu życia mieszanki żywicy z utwardzaczem w temperaturze pokojowej" – czas życia w przypadku żywicy epoksydowych raczej nie zależy od proporcji składników, tylko od rodzaju utwardzacza.

S56 góra: powinien być jakiś nagłówek informujący, że mamy do czynienia z dalszym ciągiem tabeli 10.

S60L3d (podpisy pod rysunkami 22 i 23): obraz jest raczej zbiniaryzowany, a nie "zbinearyzowany".

S61L4g: lepiej brzmiałoby "Ułożenie CFs" zamiast "Kierunkowość CFs".

S62L2g: "Prędkość przesuwu belki wynosiła 1 mm/min" – chodzi raczej o prędkość przesuwu obciążającego "wałka o średnicy 6 mm".

S63 wzór 11: brak rozwiniecie wzoru do postaci zawierającej podstawowe, dające się zmierzyć wielkości – w szczególności chodzi o rozwiniecie komponentu odkształceniowego.

S64L2g: "wyznaczono odporność na pękanie G_{Ic} w pierwszym trybie obciążenia (tj. podczas rozciągania w kierunku poprzecznym do płaszczyzny pęknięcia)" – należało ew. postawić nawias przed "w pierwszym trybie..." zamiast przed "tj. Podczas...", gdyż w oznaczeniu G_{Ic} tryb obciążania jest już określony; wielkość G_c oznacza tzw. krytyczną prędkość uwalniania energii (ang. critical energy release rate), która teoretycznie odpowiada energii powierzchniowej dwóch nowo powstałych powierzchni w obszarze pęknięcia; uważam, że określanie jej jako "odporności na pękanie" jest dopuszczalne, aczkolwiek częściej jako miarę tejże stosuje się krytyczny współczynnik intensywności naprężeń K_{Ic} ; poza tym przeprowadzona procedura oceny pęknięcia jest ciekawa, dobrze zaprezentowana (rysunek 58) i wnosi dużo informacji o pękaniu badanych materiałów.

S65L10d: "W tym procesie, energia ta rozchodzi się na boki w krótkim czasie, co powoduje" – lepiej byłoby np. "Energia ta kumuluje się lokalnie w materiale powodując".

S65L2d: "uderzane w środek za pomocą kowadła (młota)" – uderza wahadło; część wahadła kontaktująca się z próbką to nóż; kowadłami czasami określa się statyczne podpory dla próbek.

S71 rysunek: powinna być informacja, że jest to część rysunku 27; ewentualnie można było podzielić rysunek 27 na dwa osobne; wykresy a i d są ucięte z prawej strony.

S72L6g: "różnice w lepkościach" - raczej różnice w lepkości.

S79L14d: "bardziej uporządkowanych kryształów" – prawdopodobnie lepiej byłoby zapisać "większej całkowitej objętości kryształów".

S81 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 32.

S83 rozdział 7.2.2 (wzmiankowane też wcześniej na S8L1g oraz S61L7g): dziwi brak pomiarów w kierunku Y; ze względu na płaskość pasm włókien wzmacniających oraz na jednokierunkowe prasowanie, można się spodziewać mocno różnych właściwości w kierunkach X i Y; bez wątpienia wyniki takich pomiarów solidnie wzmocniłyby wnioski z całości badań.

S93 rysunek 45 i opis w tekście (analogicznie opis od S101L2g): poprzeczne pęknięcie próbki i zerwane włókna świadczą o wystąpieniu niszczącego rozciągania podczas próby "ścianania" metodą zginania krótkiej belki, potwierdzając ułomność tej metody w ocenie wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe laminatów; możliwe też, że wizualizowane zerwanie włókien nastąpiło znacznie po zajściu zasadniczego zniszczenia, które być może nastąpiło głównie na drodze ścinania międzywarstwowego; w tej sytuacji należało opisywać je w odrębnym podrozdziale traktującym o efektach zniszczenia materiału w wyniku statycznego zginania.



S98 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 48.

S105 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 50.

S107L5g: "powstawanie naprężeń pęczniejących" – raczej po prostu "występowanie efektu pęcznienia".

S107 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 51.

S111 opis na dole: być może, zwiększenie przewodności wiąże się z wpływem rezydualnej wilgoci pozostałej w materiale po procedurze starzenia.

S113 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 55.

S117 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 58.

S118L1g: "Start wytwarzania przedpęknięcia" – raczej "Początek powstawania przedpęknięcia".

S121L14d: "osłabienie interfejsu włókna – osnowa" – lepiej "osłabienie granicy fazowej włókna – osnowa".

S122 góra: powinna być informacja, że jest to ciąg dalszy tabeli 29.

S123L3g: chodzi zapewne o tabelę 29; całe to zdanie jest trochę logicznie niespójne.

S123L6d: próbki mogły też ulec dosieciowaniu w trakcie starzenia (podwyższona temperatura).

S125 dół: powinna być informacja, że jest to część rysunku 67.

Uwagi szczegółowe nie wymagające komentarza ze strony doktoranta – błędy językowe

Podziękowania L14d: "za miłą i miłą atmosferę" – o jedną miłą za dużo.

S8L2d: bardziej pasowałoby "włókniny kopoliamidowe" zamiast "kopoliamidowe włókniny".

S9L2g: "The subject of this thesis is carbon fiber reinforced polymers" – błąd gramatyczny.

S16L13d: "co uniemożliwia też kontrolę ilości wprowadzonych CNTs" – błąd literowy.

S21L12d: " Technika worka próżniowego (...) jest bardzo rozpowszechnione" – błąd literowy.

S22L12d: "obecnością pustych przestrzeniami" – błąd literowy.

S24L1g: "domieszki" – lepiej brzmiałoby "napełniacza".

✓

S25L4d: "mechanizm hoppingowym" – błąd literowy.

S26L4d: "np. do tłumienia pola elektromagnetycznego [113–116], jak i ochronie odgromowej" – błąd literowy.

S30 rysunek 7: w podpisie dwa razy wyraz "przewodzące".

S31L4g: "ekstensywna oksydacyjna/modyfikacja płaszczyzny" – błąd literowy lub niewłaściwe umieszczenie ukośnika.

S34L6d: "Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że nanorurki mogą być metaliczne lub półprzewodnikowe." – zdanie niepotrzebne.

S35L14d: "Do podstawowych elementów wykorzystywanych do wytwarzania CNTs są:" – zdanie niepoprawne gramatycznie.

S36L5d: "wytrzymałość na rozciągania" – błąd literowy.

S38L10g: "wzmacnianej" – błąd literowy.

S39L10d: "manipulowanie nimi" – niepotrzebne wyrazy.

S43L9d: "na wprowadzenie do CFRPs, termoplastycznych włókien" – niepotrzebny przecinek.

S44L7g: "jako osnowy do wytworzenie włókien" – błąd literowy.

S45L5g: "do której fale elektromagnetyczne nie mogą dostać poprzez ograniczające ściany" – brakuje wyrazu "się".

S46L1g: "w do 2028 r" – niepotrzebne wyrazy.

S50L7d: niepotrzebny wyraz "nanonapełniacza".

S51L8d: "zawartość węglowa" – błąd literowy.

S53L6g: niepotrzebny wyraz "grubości".

S54L3g: "bezautklawowa" – błąd literowy.

S59L14g: "pozwoliło na zbadanie wpływu dodatku MWCNTs na następujące właściwości reologiczne nanokompozytów polimerowych: lepkości dynamicznej (η^*), modułu zachowawczego (G') oraz modułu stratności" – niegramatyczna odmiana wyrazów.

S60L1g: "napylone" – błąd literowy.

S60L5d: "został [...] wyrażono w procentach" – błąd literowy.



S65L2g: "jest stosunkiem przemieszczenie punktów przyłożenia" – błąd literowy.

S67L8d: "szeroko-pasmowa" – niepotrzebny łącznik.

S73L1d: "nie zaobserwowano wyraźnych różnic pomiędzy stężeniami" – błąd literowy.

S74L3g: "a zawartości MWCNTs jest bardzo wysoka" – błąd literowy.

S76L4g: "można stwierdzić, że największą różnicą wykazywały nanokompozyty" – błąd literowy.

S77L6g: "przed wprowadzeniem do struktury CFRPs celem uniknięcia powstania wad w ich strukturze CFRPs." – niepotrzebny wyraz.

S84L9d: "ściananie międzywarstwę" – błąd literowy.

S84L2d: "metodą tłoczenia i prasowanie" – błąd literowy.

S86L5g: "proces prasowanie pozwala" – błąd literowy.

S86L14g: "dotyczy zbadania wpływ zastosowania" – błąd literowy.

S99L5d: "Inną sytuację obserwowano porównujący wyniki" – błąd literowy.

S100L5d: "o niższym powierzchniowym udziale włókien we włókninę domieszkowanej MWCNTs" – błąd literowy.

S101L3d: "wpływają [...] na zmianę przewodności elektrycznej CFRPs, a przy okazji obniżając ich wytrzymałość" – błąd literowy.

S102L11g: "co przełożyło się na większą ilość przewodzących ścieżek" – błąd literowy.

S103L9g: "efekt [...] wpłynę na wzrost udziału wzmocnienia" – błąd literowy.

S103L7d: "przeznaczonych na [...] badaniu odporności na pękanie" – błąd literowy.

S109L14d: "uzyskiwali inny autorzy pracy [282, 283]" – niepotrzebny wyraz.

S117L2g: "co powoduje spadkiem modułu sprężystości przy zginaniu" – błąd literowy.

S127L2g: "energii uderzenia [280, 289]" – niepotrzebna kropka.

S127L5d: "Dla analizowanych laminatów epoksydowo-węglowych osiągnięcie powyżej 10 dB dla częstotliwości powyżej 450MHz stanowi podstawę do uznania go jako materiał absorbujący promieniowanie elektromagnetyczne" – niespójność gramatyczna (pomieszanie liczby pojedynczej i mnogiej).

W