

Politechnika Wrocławska

Wydział Chemiczny, Zakład Inżynierii i Technologii Polimerów

50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

Prof. dr hab. inż. Jacek Pięglowski

Wrocław, 18.08.2017

Tel. (071) 320 35 10

e-mail: jacek.piglowski@pwr.wroc.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Szymona Kuglera

pt.

Polimerowe materiały powłokowe modyfikowane nanostrukturami węglowymi

wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Tadeusza Spychaja, oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Krzysztofa Kowalczyka w Zakładzie Technologii Materiałów Polimerowych na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

Polimerowe materiały powłokowe stanowią bardzo obszerną i znaczącą ekonomicznie grupę materiałów, których podstawowym składnikiem są związki wielkocząsteczkowe: polimery syntetyczne i naturalne. Precyzyjne sklasyfikowanie obiektów badań Autora rozprawy, rozmieszczenie ich pośród innych materiałów polimerowych zawierających struktury nanometryczne nie jest proste. Są to materiały wieloskładnikowe, makroskopowo homogeniczne, mikroskopowe heterogeniczne, mające cechy kompozytów lub nanokompozytów, materiały zaawansowane o specyficznych właściwościach, o cechach użytkowych dostępnych tylko w materiałach produkowanych przez światowych liderów w branży farb i lakierów. Dodam też, że materiały te nie są łatwe w badaniach ich właściwości fizykochemicznych, ocenie termodynamiki mieszania, reologii układów i właściwości użytkowych końcowych produktów. Krótko mówiąc recenzowana praca dotyczy nowoczesnych materiałów, wpisuje się w nurt prac poświęconych wykorzystaniu nanostruktur węglowych uznawanych obecnie za mające największy potencjał w zakresie modyfikacji polimerów.

Mgr inż. Szymon Kugler postawił sobie za cel naukowy i badawczy określenie wpływu jaki wywierają różne geometrycznie struktury węglowe na właściwości materiałów powłokowych wodorozcieńczalnych i bezrozpuszczalnikowych. W literaturze jest stosunkowo

niewiele prac, w których można spotkać bezpośrednie porównanie efektów wykorzystania grafitu, nanorurek węglowych i grafenu jako modyfikatorów kompozycji lakierniczych. Zadania tego podjął się Doktorant i co uważam za najważniejsze opracował metody otrzymywania różnych powłok, łatwe do przeniesienia na skalę przemysłową. Otrzymane materiały zostały zbadane pod kątem ich wykorzystania w wymalowaniach transparentnych o polepszonych cechach przewodzących.

Układ treści rozprawy różni się trochę od tradycyjnego, w którym główne rozdziały to zwykle: Przegląd literatury, Cel pracy, Część doświadczalna, Wyniki badań, Podsumowanie i wnioski. Recenzowana rozprawa nie zawiera wydzielonego rozdziału poświęconego omówieniu wyników badań. Autor uznał, że korzystniej będzie omawiać wyniki badań łącznie, wraz z opisem charakterystyki składników powłokowych, sposobem mieszania oraz metodą nanoszenia powłok. Doktorant pisze, że „każdy rodzaj materiałów powłokowych przedstawiono w oddzielnym podrozdziale według następującego porządku: surowce, sposób otrzymywania, metody badawcze, wyniki badań z dyskusją oraz wnioski”. Uznaję taki wybór za uzasadniony, zwłaszcza, że każdy z podrozdziałów ma równoważnego odpowiednika w postaci osobnej publikacji. Są to publikacje w języku angielskim z czego 4 opublikowano w *Progress in Organic Coatings Journal* i jedną pracę w krajowych *Polimerach*. Nie muszę dodawać, że jest to komfortowa sytuacja dla recenzenta, bowiem podrozdziały 5.1, 5.2, 5.3, 6.1 i 6.2 zostały już pozytywnie zaopiniowane przez zagranicznych recenzentów i to w czasopiśmie o dużym współczynniku oddziaływania $IF=2,858$ (2016/2017). Szukając wspomnianej wartości współczynnika IF , natknąłem się na informację, że jeszcze w roku 2008 wynosił on dla tego czasopisma 1.375. To najlepszy dowód wzrostu rangi czasopisma i w pewnym sensie potwierdzenie znaczenia tematyki prac Doktoranta. Kończąc omawianie układu pracy wspomnę jeszcze, że rozprawa zawiera bardzo przydatny spis skrótów, spis wszystkich publikacji Autora i wystąpień konferencyjnych.

Część literaturowa pracy stanowi bardzo dobre kompendium wiedzy o polimerowych materiałach powłokowych. Doktorant w sposób jasny, przystępny i logiczny wprowadza czytelnika w świat kompozycji powłokowych, farb kryjących, transparentnych lakierów, opisu różnic między rozpuszczalnikami i rozcieńczalnikami, omawia rolę pigmentów i barwników. Bardziej szczegółowo opisuje podział farb i lakierów na układy wodorozcieńczalne, rozpuszczalnikowe, o dużej zawartości części stałych tzw. high-solids oraz układy bezrozpuszczalnikowe jakimi są np. farby proszkowe. Przytacza też inny podział kompozycji powłokotwórczych, ważny w kontekście przeprowadzonych badań, na kompozycje jednoskładnikowe (1K) oraz dwuskładnikowe (2K). Może celowe byłoby zaznaczenie, że chodzi tu o końcową formę ważną dla użytkownika, bo przecież farba czy lakier konfekcjonowany w jednym opakowaniu wcale nie jest jednoskładnikowa. W rozdziale 2 zatytułowanym „Nanonapełniacze węglowe”, Doktorant przedstawia grafity nanocząsteczkowe, grafeny, oraz nanorurki węglowe oraz omawia sposoby ich modyfikacji (funkcjonalizacji), mające na celu zwiększenie powinowactwa do innych, poza spoiwem, składników kompozycji powłokowych. Część literaturowa zawiera też opis napełniaczy węglowych, w tym nanorurek węglowych (CNT) oraz grafenu (GNP) i tlenku grafenu (GNO) w

zastosowaniach do powłok poliuretanowych, akrylowych i epoksydowych. Warto w tym miejscu dodać, że cytowana literatura dobrze koresponduje z zakresem i celem rozprawy. Bardzo przejrzyste są tabelaryczne zestawienia metod funkcjonalizacji wspomnianych nanonapełniaczy węglowych (CNF) z podziałem na funkcjonalizację niekonwalencyjną i kowalencyjną, podaniem zalecanej zawartości masowej napełniaczy w lakierze i nazwy jego producenta. Szczególnie bogata jest dokumentacja dotychczasowych rozwiązań w zakresie modyfikacji nanorurek i różnych form grafenu do zastosowań w powłokach epoksydowych. Obok sonifikacji, pośród metod dyspergowania CNF Autor wymienia mieszanie mechaniczne z roztworami o małej lepkości, mieszanie mechaniczne z kompozycją proszkową, dyspergowanie w roztworach żywic za pomocą młynów kulowych, dyspergowanie za pomocą trójwalcarki oraz dyspergowanie *in situ* podczas polimeryzacji.

W podsumowaniu części literaturowej, Doktorant przedstawia dwie sugestywne Tabele (3.7 i 3.8), które ilustrują w jakim stopniu znane napełniacze węglowe zmieniają, dwa podstawowe parametry powłok: rezystywność powierzchniową i transparentność w zależności od ich struktury i zawartości masowej. Analiza aktualnego stanu wiedzy przeprowadzona przez Autora pozwoliła mu sformułować cel pracy, którym było otrzymanie metodami łatwymi do przeskalowania na skalę przemysłową powłok polimerowych o cechach proekologicznych, modyfikowanych nanostrukturami węglowymi ze składników komercyjnych. Założeniem pracy było też, by metoda otrzymywania powłok była akceptowalna przez potencjalnego producenta a uzyskane wymalowania cechowały się dobrą transparentnością i polepszonymi cechami prądoprzewodzącymi.

Część doświadczalna dotyczy pięciu rodzajów materiałów powłokowych modyfikowanych węglowymi nanonapełniaczami (CNF). Trzy z nich to układy wodorozcieńczalne jednoskładnikowe 1K, oraz dwa pozostałe to powłoki epoksydowe dwuskładnikowe 2K (typowy przykład żywic epoksydowych). Każdy z pięciu opracowanych materiałów polimerowych przedstawiony jest w osobnym podrozdziale. Jak już wspominałem tym pięciu podrozdziałom odpowiadają opublikowane przez Doktoranta i promotorów prace. Lektura „Części eksperymentalnej” potwierdza opanowanie przez Doktoranta metod wytwarzania materiałów powłokowych, znajomość technik dyspergowania węglowych nanonapełniaczy, właściwy dobór technik eksperymentalnych potwierdzających właściwości użytkowe powłok oraz metod badawczych dających wgląd w strukturę badanych materiałów. Wnioski z badań są logiczne, dobrze udokumentowane, trudno dopatrzyć się spornych elementów w analizie wyników czy większych błędów. Nie bez znaczenia jest tu fakt, że wyniki pracy były już raz oceniane przez grono zagranicznych recenzentów, specjalistów w zakresie farb i lakierów, z pewnością dużo bardziej kompetentnych niż moja skromna osoba. Z obowiązku recenzenta odniosę się jedynie do najważniejszych wyników, ograniczając moją analizę tylko do wybranych fragmentów części doświadczalnej, prezentującej również wyniki i ich dyskusję. Rozdział ten zawiera 55 stron.

Próbki do badań na bazie materiałów powłokowych wodorozcieńczalnych przygotowywano wg następującego schematu: dyspersję odpowiedniego polimeru mieszano z surfaktantem silikonowym z prędkością 300 obr./min przez 15 minut, następnie dodawano

wodną dyspersję nanonapełniacza węglowego (handlowa wodna dyspersja nanorurek węglowych o nazwie Aquacyl), podobną dyspersję nanorurek węglowych przygotowaną w Instytucie Polimerów ZUT (ZUT-CNT) lub wodną dyspersję grafenu również opracowaną w macierzystej Jednostce Doktoranta. Sporządzano też kompozycje zawierające nie tylko nanorurki węglowe ale również mieszane nanonapełniacze nanorurki węglowe/grafen (używane przez Doktoranta określenie napełniacz hybrydowy jest w tym przypadku nieuzasadnione). W efekcie Autor sporządził 16 różnych kompozycji poliuretanowych zawierających nanostruktury węglowe. W wyniku modyfikacji dyspersji poliuretanowej przez wprowadzenie 1% mas. CNT udało się obniżyć rezystywność powierzchniową powłok poliuretanowych z poziomu $9 \cdot 10^{14} \Omega$ do $5,3 \cdot 10^7 \Omega$ w przypadku zastosowania handlowej dyspersji Aquacyl, a w przypadku wykorzystania wodnej dyspersji nanorurek opracowanej w Instytucie do wartości $7 \cdot 10^6 \Omega$. Warto też zauważyć, że powłoki z dyspersji ZUT-CNT wykazały wyraźnie lepsze właściwości elektroprzewodzące przy zawartości CNT powyżej 0,6 % mas. niż powłoki z komercyjną dyspersją nanorurek (Aquacyl). Uzyskane wyniki dowodzą również, że dodatek nanorurek ma większy wpływ na poprawę przewodnictwa elektrycznego powłok poliuretanowych niż grafen, choć jednocześnie niewielki dodatek grafenu do nanorurek węglowych może polepszyć przewodnictwo elektryczne. Autor zaobserwował również, że zawartość nanonapełniaczy węglowych „w pewnym stopniu” wpływa na twardość otrzymanych powłok. Jednakże, biorąc pod uwagę, że w 13 kompozycjach na 16, zmiana ta mieści się w przedziale 100-105 umownych jednostek, należałoby raczej mówić o braku wpływu nanorurek węglowych na twardość. Ponadto w pracy zaobserwowano, że obecność CNF obniża połysk powłok jak również ich transparentność. Ciekawym wynikiem jest też stwierdzenie mało istotnego wpływu obecności nanonapełniaczy węglowych CNF na temperaturę zeszklenia poliuretanowej matrycy powłoki. Nieco większe zmiany zaobserwował Autor w wynikach uzyskanych metodą DSC i tłumaczy ten fakt różnicą w charakterze mierzonej wielkości fizycznej (strumień ciepła vs. zmiana właściwości lepkościowych). Warto też wspomnieć, że DMA uznawana jest często za „czulszą” metodę badawczą i pozwala wyznaczyć również inne przejścia relaksacyjne jak np. β i γ .

Kolejne dwie grupy powłokowych materiałów wodorozcieńczalnych opracowanych przez Doktoranta, to dyspersje akrylowe modyfikowane grafenem i/lub nanorurkami oraz dyspersje akrylowe z nanorurkami węglowymi zawierające również nanonapełniacze dielektryczne, nazywane w pracy jako DNP. Pierwsza grupa zawiera aż 19 kompozycji, natomiast druga 16 kompozycji. Sposób sporządzenia kompozycji jest zbliżony do opisywanego w przypadku dyspersji poliuretanowej. Zmiana polega jedynie na tym, że przed wprowadzeniem dyspersji nanorurek, na etapie homogenizacji dyspersji akrylowej z surfaktantem silikonowym dodawano dodatkowo dyspersję DNP, czyli napełniacze Al_2O_3 , SiO_2 lub TiO_2 z handlowym surfaktantem BYK-094 (0,5 %mas.). Dla kompozycji akrylowych dodatkowo badano lepkość dyspersji, adhezję do podłoża oraz chropowatość, wykorzystując do tego laserowy mikroskop skaningowy. Stwierdzono, że ze wzrostem zawartości opracowanych w Instytucie dyspersji nanorurek w kompozycjach, ich lepkość znacząco maleje. Komentując ten fakt, Doktorant stwierdza jego oczywistość, gdyż omawiane

kompozycje zawierały znacznie więcej wody niż bazowa, referencyjna dyspersja akrylowa (str.41). Powstaje więc pytanie po co w ogóle przeprowadzano te pomiary? Może należałoby przeprowadzić badania właściwości reologicznych dyspersji wodnych zawierających różne nanostruktury węglowe, ale o tym samym stężeniu w wodzie. Najcenniejszym wynikiem obserwacji wpływu dodatku nieprzewodzących nanonapełniaczy na właściwości powłok akrylowych jest stwierdzenie, że ich obecność znacząco wpływa na rezystywność powierzchniową powłok. Zjawisko to Autor tłumaczy efektem objętości wyłączonej, spowodowanym przez nieprzewodzące cząstki zajmujące część przestrzeni w matrycy powłoki. Zjawisko to było już obserwowane w przypadku litych materiałów kompozytowych, ale nikt dotąd nie opisał wpływu nieprzewodzących napełniaczy (DNP) na właściwości dielektryczne cienkich warstw zawierających nanorurki węglowe. Doktorant zaprezentował uproszczony schemat tego zjawiska na rys. 5.18 i sugeruje, że dodatek nieorganicznych cząstek nieprzewodzących zwiększa stężenie nanorurek w fazie organicznej co wystarcza do wytworzenia ścieżek przewodzących umożliwiających przepływ prądu elektrycznego. Jest to oczywiście logiczna argumentacja, ale czy zawsze prawdziwa w przypadku cienkich warstw? W tym prostym modelu można bowiem wyobrazić sobie, że cząstki nieorganiczne mogą się ułożyć w inny sposób niż na rys. 5.18, tworząc lokalne zapory blokujące dalszy wzrost ścieżek przewodzących. Ważne, że Doktorant zdaje sobie sprawę, że mechanizm przewodzenia w opisywanych przypadkach nie jest trywialny. Świadczy o tym dyskusja na stronach 52-55 i przytaczane tam dane literaturowe uwzględniające efekty sedymentacji cząstek, ich zwilżalność, współczynnik kształtu etc. Chętnie usłyszał bym w dyskusji, podczas obrony pracy, jakie jest zdanie Autora na ten temat i czy znane są inne hipotezy wyjaśniające omawiany efekt. Podsumowując ten rozdział rozprawy, Autor stwierdza, że dodatek dielektrycznych, nieorganicznych napełniaczy tlenkowych (DNP) pozwala na obniżenie zawartości nanorurek węglowych, koniecznej do uzyskania pożądanej rezystywności powierzchniowej powłok. Ponadto zaobserwowano korzystny wpływ obecności mieszanin CNT/DNP na wzrost twardości powłok, zwiększoną adhezję do szkła i termostabilność.

W ostatnim podrozdziale przedstawiono wyniki prac których celem było opracowanie materiałów powłokowych na bazie żywic epoksydowych. Doktorant przedstawił tu dwa rozwiązania, jedno dla bezropuszczalnikowej żywicy epoksydowej i drugie dla żywicy wodorozcieńzalnej. W pierwszym przypadku opisano właściwości aż 42 kompozycji, w drugim 7 kompozycji modyfikowanych strukturami węglowymi, nie licząc próbek odniesienia. Tak duża liczba ocenianych materiałów wynika z faktu, że np. nanorurki węglowe wprowadzano raz do komponentu żywicznego „R” a raz do komponentu utwardzającego „H”. Potem mieszano je z pozostałymi składnikami kompozycji. W tej części badań pojawiła się też ocena tłoczności powłok na podłożu stalowym oraz wyniki odporności na wilgoć przeprowadzone w komorze klimatycznej. Doktorant udowodnił, że możliwe jest właściwe zdyspergowanie CNF w żywicy lub utwardzaczu z wykorzystaniem mieszaniny ultradźwiękowego wyposażonego w sonotrodę. Następne zmieszanie tych składników w prostym układzie mieszanin mechanicznego pozwala uzyskać materiał powłokowy o interesujących właściwościach. Przeprowadzone badania właściwości elektrycznych,

optycznych, mechanicznych i termicznych wykazały, że powłoki z udziałem dyspersji nanonapełniaczy węglowych sieciowane fenoloalkilaminą, aminowaną pochodną kardanolu (PAA), mają lepsze właściwości niż materiały z wykorzystaniem odpowiednich dyspersji w żywicy epoksydowej lub aminach syntetycznych. Uwzględniając naturalne pochodzenie kardanolu jako produktu pozyskiwanego ze skorup orzechów nerkowca, łatwo dostrzec konsekwentne dążenie Autora do realizacji jednego z celów rozprawy jakim było opracowanie materiałów powłokowych przyjaznych dla środowiska (materiały bezrozpuszczalnikowe i wykorzystujące surowce odnawialne). We wnioskach dotyczących dwuskładnikowych lakierów epoksydowych niezawierających rozpuszczalnika Autor wyszczególnia zwłaszcza małą rezystywność powierzchniową powłok, stabilność transparentności, połysku i mętności w warunkach zwiększonej wilgotności. Wskazuje też na możliwość wykorzystania tych powłok w źle wentylowanych pomieszczeniach, jako pokrycia lamp lub okienek używanych w środowiskach zagrożonych wybuchem np. w kopalniach czy instalacjach chemicznych. Bardzo dobre wyniki uzyskano też dla wodorozcieńczalnych lakierów epoksydowych modyfikowanych nanorurkami węglowymi. Lakiery te otrzymywano w następujący sposób; o-tolilobiguanid zobojętniano rozcieńczonym kwasem octowym dodając następnie mieszaninę eteru glicydylowego bisfenolu F i eteru krezolowo-glicydylowego w stosunku masowym 80/20, po czym całość wstrząsano w zamkniętym pojemniku aż do uzyskania klarownego roztworu. Do tak otrzymanego medium dyspergującego wprowadzano handlowe wielościennie nanorurki węglowe i dyspergowano przy pomocy mieszadła mechanicznego wyposażonego w tarczę mieszającą. Przeprowadzono 6 wariantów takich syntez. Tak otrzymane powłoki z nanorurkami charakteryzują się znakomitą, logarytmiczną redukcją rezystywności powierzchniowej w funkcji zawartości nanonapełniacza. I tak próbka odniesienia charakteryzuje się wartością $R_s = R_s = 1 \cdot 10^{15} \Omega$, podczas gdy jedna z badanych powłok wykazuje $R_s = 9 \cdot 10^4 \Omega$ przy zawartości nanorurek węglowych 0,025-0,05 %mas. Autorowi nie udało się otrzymać kompozycji o większym stężeniu nanorurek z powodu dużej lepkości kompozycji. Uzyskane wyniki pozwalają jednak na oszacowanie rezystywności dla hipotetycznej powłoki zawierającej 1 %mas. nanorurek na około $5 \cdot 10^2 \Omega$. Omawiane powłoki mają więc właściwości antystatyczne, charakteryzują się ponadto bardzo dobrą transparentnością (81-83%), połyskiem powyżej 120 GU oraz zerową mętność. W opinii autorów publikacji w której współautorem jest doktorant uzyskano najbardziej korzystną kombinację właściwości antystatycznych, przewodzących i transparentnych spośród wszystkich wcześniej opisanych w literaturze materiałów powłokowych modyfikowanych nanorurkami węglowymi. Autorzy przywołują tu 25 publikacji z tego zakresu (str.79).

W zakończeniu pracy w Podrozdziale 7, Doktorant przedstawił zbiorcze posumowanie wyników, oraz co uważam za godne podkreślenia, ocenę opłacalności produkcji otrzymanych powłok. Biorąc pod uwagę rzeczywiście niewielką zawartość nanonapełniaczy węglowych wymaganą do uzyskania interesującej dla użytkownika rezystywności powierzchniowej, a także transparentności, adhezji, twardości oraz innych właściwości wydaje się realne zainteresowanie wynikami pracy producentów lakierów. Jak pisze w podsumowaniu

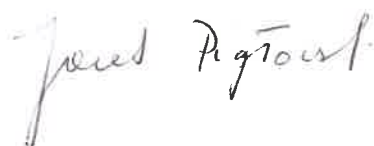
rozprawy Doktorant, w świetle odpowiednich wyliczeń ekonomicznych, powinno się przełamać psychologiczną barierę przed wdrożeniem tego typu lakierów do produkcji, zwłaszcza, że koszt 1 kg niektórych opracowanych powłok zawiera się w przedziale 4 EUR – 7,5 EUR, w której to cenie koszt nanorurek wynosi odpowiednio od 1% do 17% .

W żadnej pracy doktorskiej nie udaje się uniknąć błędów. W pracy mgr inż. Szymona Kuglera jest ich jednak niewiele lub są mało znaczące. Dla przykładu Doktorant używa określenia „wysoka lepkość” zamiast poprawnej formy duża lepkość. Anglojęzyczna pisownia to oczywiście high viscosity, high molecular weight, high impact factor itd. W języku polskim mówimy i piszemy polimery i tworzywa wielkocząsteczkowe a nie wysokocząsteczkowe. Słownik Poprawnej Polszczyzny wydany przez PWN w haśle przymiotnika wysoki, podaje przykłady jego niepoprawnego stosowania. I tak: wysokie (zamiast dobre) rezultaty, wysoka (zamiast dobra, doskonała) forma zawodników, wysoka (zamiast duża) frekwencja, wysokie (zamiast duże, znaczne) zagęszczenie mieszkań, wysokie (zamiast obfite plony). Przez analogię do dużego zagęszczenia mieszkań czy budowli, powinniśmy więc używać formy duże stężenie cząstek napełniacza lub duża lepkość. Szybkość ogrzewania wyrażamy w jednostkach K/min a nie °C/min. Pewnym problemem dla czytelnika rozprawy jest też wyjątkowo częste stosowanie skrótów (w postaci literowych symboli) dla nazw badanych materiałów czy stosowanych metod badawczych. Autor co prawda zamieścił na wstępie spis używanych skrótów, ale w obliczu ich olbrzymiej ilości nie wszystkie skróty znalazły się w tym zestawieniu np. RS - próbka odniesienia, G.U. jako arbitralna jednostka (na marginesie w języku angielskim ten skrót pisany jest bez kropek czyli GU) nie znajdują się w tym wykazie. Proszę się wczuć w rolę czytelnika, który czyta następujące zdanie: „Próbki przygotowano w następujący sposób. TBG rozpuszczono/zobojętniono za pomocą wodnego roztworu AA”. Pierwszy odruch to zagłębienie to spisu skrótów. Nie ma tam TBG ani AA. Trzeba przerwać lekturę i szukać znaczenia skrótu w tekście. Nic by się nie stało gdyby Doktorant napisał że użył do zobojętnienia kwas octowy, lub zamiast rozpuszczać TBG rozpuścił tolilobiguanid. Czy dla oszczędności kilku liter w tekście, warto za każdym razem zamiast pełnej nazwy metody lub związku chemicznego stosować mało powszechny skrót? Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie umniejszają wartości rozprawy, którą oceniam bardzo dobrze. Praca jest nienaganna od strony edytorskiej, zawiera wiele dobrze ilustrujących treść rysunków i tabel, niektóre jak zdjęcia z mikroskopu elektronowego kłęбка nanorurek węglowych obecnego w proszku CNT i w formie zdyspergowanej po funkcjonalizacji w powłoce lakierowej, budzą zachwyt i uznanie.

Podsumowując Doktorant precyzyjnie sformułował cel badawczy, który potrafił z sukcesem zrealizować. Poprawnie dobrał i zastosował metody eksperymentalne, w tym DSC, DMA, spektroskopia w zakresie promieniowania UV, FT-IR, spektroskopia rozpraszania promieniowania X (EDX), pomiar potencjału zeta i inne, gromadząc niezmiernie bogaty zestaw wyników. Następnie je zinterpretował i starannie przeanalizował uzyskując ważne informacje o wpływie nanonapełniaczy węglowych o różnorodnej strukturze na fizykochemiczne i użytkowe właściwości powłokowych materiałów polimerowych.

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę stwierdzam, że rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez „Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym”, wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Szymona Kuglera do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Ponadto, uwzględniając nowatorskie i kompleksowe podejście do postawionego problemu, wagę uzyskanych wyników a także w uznaniu niezwyklej pracowitości Doktoranta (przebadał w sumie 110 receptur modyfikowanych materiałów powłokowych) oraz faktu opublikowania wszystkich omawianych w rozprawie wyników w renomowanych czasopismach o obiegu międzynarodowym (5 publikacji), wnioskuję o wyróżnienie rozprawy Pana mgr inż. Szymona Kuglera przez Radę Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Handwritten signature in cursive script, reading "Jerzy Piętkowski".