

Warszawa 20.09.2022

Prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechniki Warszawskiej

Recenzja

Rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Artura Kurnyty

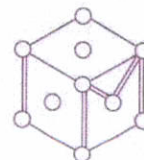
**pt. „Monitorowanie pęknięć zmęczeniowych elementów struktury statku powietrznego
za pomocą zintegrowanej sieci rezystancyjnych czujników drabinkowych”**

*Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria
Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 29 czerwca 2022r.*

Ocena tematyki pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Artura Kurnyty została wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Leskiego, prof. WAT oraz ppłk dr inż. Macieja Henzela jako promotora pomocniczego.

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy oceny możliwości wykorzystania opracowanych autorskich czujników drabinkowych do detekcji i monitorowania rozwoju pęknięć elementów konstrukcji statków powietrznych. Wpisuje się ona w aktualne trendy związane z detekcją i monitorowaniem statycznych i zmęczeniowych pęknięć konstrukcji lotniczych. Zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa w trakcie eksploatacji statków powietrznych jest kluczowe dla ochrony zdrowia i życia pasażerów. Powstające w konstrukcji pęknięcia, czy to na etapie wytwarzania, czy też podczas eksploatacji, mogą ewoluować zwiększając swoje rozmiary i łącząc się ze sobą, przez co prowadzą do katastroficznego zniszczenia materiału. Dlatego też w trosce o zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcje lotnicze są poddawane okresowym inspekcjom dla weryfikacji ich stanu technicznego. A zatem

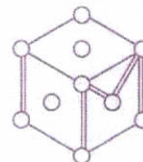


problem podjęty przez doktoranta jest niezwykle istotnym i aktualnym zagadnieniem o dużym znaczeniu praktycznym.

Obecnie stan konstrukcji statków powietrznych sprawdzany jest okresowo za pomocą technik badań nieniszczących (NDT), jak np. badań ultradźwiękowych czy emisji akustycznej. Metody te są dobrze opisane, pozwalają na detekcję uszkodzeń różnego typu w strukturach metalowych jak i kompozytowych. Jednakże inspekcja technikami NDT wymusza czasowe wyłączenie samolotów z eksploatacji, co pociąga za sobą duże koszty. Co więcej metody NDT są czasochłonne i niejednokrotnie niemożliwe do wykonania w trudno dostępnych miejscach konstrukcji. Ponadto ze względu na brak bieżącego monitorowania stanu konstrukcji, jej uszkodzenie może nastąpić pomiędzy terminami wyznaczonych badań. Dlatego też od co najmniej dwóch dekad prowadzone są prace nad wykorzystaniem i wdrożeniem systemów ciągłego monitorowania stanu technicznego konstrukcji (SHM) za pomocą czujników, najczęściej piezoelektrycznych lub światłowodowych, połączonych w czasie rzeczywistym w sposób ciągły z układami transmisji danych i odbiornikami rejestrującymi i przetwarzającymi uzyskane sygnały. Systemy pomiarowe SHM są trwale zintegrowane z monitorowaną strukturą. Biorąc pod uwagę rozwój transportu lotniczego wydaje się nieuniknione, że metody NDT będą musiały ustąpić miejsca metodom SHM.

W obszarze metod SHM nowym kierunkiem badań prowadzonych w wielu ośrodkach na świecie jest wykorzystanie materiałów przewodzących do wytwarzania przewodzących ścieżek, powłok lub folii zintegrowanych z monitorowaną strukturą. Materiały takie pękając wraz z badanym elementem zmieniają swoją rezystancję, której pomiar służy jako sygnał diagnostyczny pozwalający na określenie długości pęknięcia. W grupie czujników opartych na nowych przewodzących materiałach mieszczą się czujniki drabinkowe, będące przedmiotem niniejszej rozprawy. Są one atrakcyjną alternatywą dla innych metod służących do detekcji pęknięć w strukturach lotniczych. W literaturze przedmiotu brakuje danych potwierdzających skuteczność działania czujników drabinkowych, co stało się motywacją do podjęcia badań w niniejszej rozprawie doktorskiej.

A zatem należy stwierdzić, że zagadnienie badawcze podjęte w rozprawie doktorskiej przez Pana Artura Kurnytę, dotyczące koncepcji opracowania i wprowadzenia nowych rezystancyjnych czujników drabinkowych, zintegrowanych ze strukturą statku powietrznego,



do detekcji pęknięć struktur lotniczych spełnia cechy nowości naukowej i mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

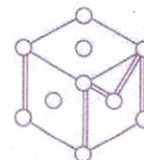
Za cel naukowy niniejszej rozprawy Pan mgr inż. Kurnyta przyjął opracowanie i zweryfikowanie metody możliwie wczesnego wykrywania i monitorowania rozwoju pęknięć zmęczeniowych metalowych struktur lotniczych, przy wykorzystaniu sieci rezystancyjnych czujników drabinkowych zintegrowanych na stałe z badanym obiektem. Celem użytkowym rozprawy jest weryfikacja i próba podniesienia poziomu gotowości technologii monitorowania stanu technicznego konstrukcji z wykorzystaniem opracowanych czujników.

Opracowanie i zastosowanie systemów SHM wymaga wiedzy interdyscyplinarnej i łączy w sobie dziedziny mechaniki, elektroniki, informatyki i materiałoznawstwa. Projektowanie systemów SHM dla konkretnego obiektu wymaga dedykowanego podejścia i zależy od przewidywanego rodzaju uszkodzeń oraz materiału, z jakiego wykonana jest konstrukcja. Istotny jest sposób umieszczenia czujników, odległości pomiędzy nimi, warunki eksploatacji. Jak dotąd nie opracowano kompleksowego systemu SHM. Większość zaproponowanych rozwiązań rozstrzyga tylko część problemów i rzadko prezentuje wyższy poziom gotowości technologicznej, zwłaszcza w odniesieniu do lotnictwa.

Opracowanie nowych czujników drabinkowych będących głównym elementem rozprawy doktorskiej ma na celu porównanie ich skuteczności działania w stosunku do czujników komercyjnych. Wybór tematyki rozprawy, jak i materiałów do badań należy uznać za trafny i uzasadniony w kontekście stanu aktualnej wiedzy na temat detekcji pęknięć w elementach konstrukcyjnych statków powietrznych.

Ocena formalna pracy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 176 stron, zawiera 114 rysunki i 10 tabel. Spis literatury oparty jest na 155 pozycjach, w zdecydowanej większości są to artykuły naukowe z ostatniej dekady, a zatem przytoczony stan zagadnienia jest aktualny i dobrze rozpoznany przez Pana Kurnytę. Co więcej 8 pozycji to artykuły współautorstwa Doktoranta, przy czym w 7 z nich jest pierwszym autorem. Należy jednoznacznie stwierdzić, że wszystkie pozycje literaturowe są zgodne z tematyką rozprawy.



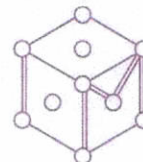
Zamieszczone w pracy rysunki są czytelne, aczkolwiek na niektórych z nich pozostawiono opisy w języku angielskim (rys. 1.1, 1.23, 1.25, 1.27). Do pracy dołączono spis przyjętych oznaczeń i skrótów.

Układ rozprawy jest klasyczny z podziałem na część literaturową i eksperymentalną. Proporcje obu części są bardzo dobre, część eksperymentalna stanowi ponad 70% rozprawy. Edycja pracy jest staranna, a nieliczne błędy językowe nie wpływają na bardzo pozytywny odbiór całej rozprawy.

Ocena merytoryczna pracy

Stan zagadnienia na temat sposobów monitorowania stanu technicznego statków powietrznych mgr inż. Artur Kurnyta zebrał w sposób syntetyczny w rozdziałach od 1.1 do 1.3. Przedstawiony przegląd literatury stanowi kompendium wiedzy na temat stosowanych technik, ich możliwości i ograniczeń, w odniesieniu do monitorowania struktur lotniczych. Świadczy on o dobrej orientacji Doktoranta w tematyce oceny stanu technicznego statków powietrznych.

W rozdziale 1.1 A. Kurnyta omówił po krótko najważniejsze metody nieniszczące (NDT) stosowane do oceny struktury samolotu podczas okresowych inspekcji, takie jak wizualna, penetracyjna, magnetyczno-proszkowa, ultradźwiękowa, prądów wirowych, radiograficzna i termograficzna. Rozdziały kolejne (1.2 i 1.3) dotyczą systemów SHM (ang. Structural Health Monitoring), które różnią się tym od metod NDT, że tryb pozyskiwania danych o strukturze materiału konstrukcji realizowany jest w sposób ciągły lub w krótkich odstępach czasu, w czasie rzeczywistym w trakcie eksploatacji obiektu. Realizowane jest to za pomocą czujników trwale zintegrowanych z monitorowaną strukturą. Poza czujnikami każdy system SHM składa się z układu akwizycji danych i układu obliczeniowego. Nie wystarczy tylko zarejestrować sygnały, ale trzeba je odpowiednio przetworzyć, przeanalizować i zinterpretować. Mgr inż. A. Kurnyta stwierdził, że jednym z najpopularniejszych kierunków rozwoju systemów SHM jest wykorzystanie aktywnych sieci piezoelektrycznych przetworników ceramicznych, pozwalających wzbudzać i rejestrować sprężyste fale w monitorowanej strukturze. Ponadto rozwijane są nowe systemy SHM, znajdujące się we wczesnym etapie badań, polegające na wykorzystaniu nowych czujników rezystancyjnych, wytworzonych na bazie przewodzących napełniaczy, jak np. alotropowe odmiany węgla (nanorurki, grafit, grafen), nanocząstki metali (srebro, miedź) w formie tuszy, past, powłok lub folii polimerowych. Tusze i pasty pozwalają



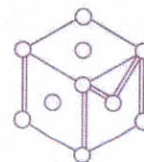
na wytwarzanie czujników w postaci przewodzących ścieżek, w tym czujników drabinkowych, będących przedmiotem badań w niniejszej rozprawie. Takie nowe czujniki pękając wraz z badanym elementem pozwalają na detekcję zmiany rezystancji, co stanowi sygnał diagnostyczny do szacowania długości pęknięcia.

Przegląd literatury zakończony został syntetycznym podsumowaniem, pokazującym luki w dotychczasowej wiedzy w zakresie działania tych nowych czujników, co było motywacją do podjęcia tematu i stało się podstawą do określenia celu, tezy i zakresu rozprawy doktorskiej.

Mgr inż. Artur Kurnyta przyjął w pracy tezę, że możliwe jest opracowanie efektywnej metody przeznaczonej do lokalnej detekcji i kwantyfikacji długości pęknięć elementów struktury statku powietrznego przy użyciu zintegrowanej sieci rezystancyjnych czujników drabinkowych. Dla udowodnienia tezy i realizacji celu pracy A. Kurnyta przyjął szeroki zakres badań, obejmujący zarówno badania komercyjnie dostępnych czujników drabinkowych, jak i czujników zaprojektowanych i wykonanych przez Doktoranta. Przyjęty dla realizacji celu pracy zakres badań należy uznać za właściwy.

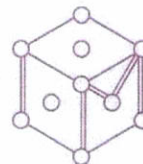
W rozdziale 3 A. Kurnyta omówił szczegółowo budowę i działanie czujników drabinkowych oraz zawarł wyniki badań weryfikacyjnych komercyjnie dostępnych czujników drabinkowych na bazie konstantanu, które obejmowały zarówno opracowanie układu akwizycji danych, jak i badania zmęczeniowe w warunkach laboratoryjnych na próbkach i na rzeczywistych elementach konstrukcji lotniczych w postaci fragmentu poszycia z podłużnicą. Doktorant przeprowadził również badania zmęczeniowe podczas długotrwałej próby w pełnej skali dla samolotu szkolnego PZL-130 TCII Orlik. Do badań wykorzystał 3 typy czujników o różnych wymiarach siatki pomiarowej. Wyniki badań laboratoryjnych z propagacją pęknięcia dowiodły, że czujniki drabinkowe wykazują skuteczność w detekcji i śledzeniu propagacji pęknięcia, a opracowany układ pomiarowy poprawnie współpracuje z czujnikami. Wartości mierzonego napięcia charakteryzują się wysokim stopniem stabilności pomiędzy przerwaniem kolejnych ścieżek siatki pomiarowej, a skokowe zmiany są jednoznacznie identyfikowane na podstawie nieprzetworzonych danych. Zintegrowane z badaną strukturą czujniki jednoznacznie pozwalają określić moment przyrostu rozmiarów uszkodzenia w ramach rozdzielczości ich siatki pomiarowej.

Przeprowadzone badania, zwłaszcza w dużej skali, pozwoliły zaobserwować pewne ograniczenia tej metody detekcji w przypadku struktur nieobciążonych, a także wykazały dużą



zależność wskazań czujników od kierunku propagacji pęknięcia. Czujniki na bazie siatek z konstantanu okazały się działać jednokierunkowo. Skutkuje to dużą trudnością w detekcji pęknięć, które propagują w różnych kierunkach, nie tylko prostopadle do czujnika. Odpowiednie zorientowanie czujnika w trakcie instalacji w stosunku do przewidywanego pęknięcia jest praktycznie niemożliwe. Do tego dochodzi ważny aspekt związany z wymiarami komercyjnych czujników, przez co nie mogły one być zamontowane np. w obszarze o dużej gęstości nitów, którego monitorowanie ma szczególne znaczenie z uwagi na znaczne prawdopodobieństwo powstawania pęknięć propagujących od poszczególnych nitów. Te ograniczenia były inspiracją dla mgr inż. A. Kurnyty do opracowania koncepcji nowych czujników drabinkowych, które pozwoliłyby na ich zniwelowanie.

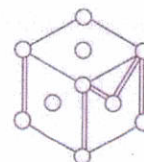
Opracowanie nowych czujników drabinkowych, co jest przedmiotem niniejszej rozprawy, mgr inż. A. Kurnyta przedstawił w rozdziałach 4 i 5, w których zawarł wyniki ze wstępnego doboru materiałów do wytworzenia czujników, potwierdzenia skuteczności ich działania i optymalizacji ich składu i budowy. Celem optymalizacji było zwiększenie podatności użytkowej i eksploatacyjnej zaproponowanej metody detekcji i monitorowania pęknięć, w porównaniu do czujników komercyjnych na bazie konstantanu. Ujawnione wady w przypadku czujników komercyjnych wskazały na konieczność adaptacji kształtu siatki pomiarowej do kształtu monitorowanej konstrukcji oraz detekcji i monitorowania pęknięcia w przypadkowym kierunku. Do wytworzenia siatki pomiarowej nowego czujnika drabinkowego Doktorant zastosował wyselekcjonowane, komercyjne farby i pasty elektroprzewodzące, zawierające mikro i/lub nanocząstki metaliczne oraz elastyczne podłoże poliimidowe, silikonowe lub poliuretanowe. Dobór materiałów do wytwarzania czujników drabinkowych prowadzony był starannie pod kątem zarówno ich właściwości, jak też możliwości aplikacji. W efekcie mgr inż. A. Kurnyta przebadiał 5 typów farb elektroprzewodzących, aby finalnie do dalszych prac wytypować jedną z nich o dobrej adhezji do podłoża poliimidowego i silikonowego, a także odporności na działanie izopropanolu oraz lakieru poliuretanowego. Czujniki zostały wytworzone warstwowo, bezpośrednio na badanym elemencie. Mgr inż. A. Kurnyta przeprowadził następnie badania eksperymentalne nowych czujników polegające na badaniach zmęczeniowych w warunkach laboratoryjnych z naniesionymi nowo opracowanymi czujnikami drabinkowymi oraz w warunkach pełnoskalowej próby zmęczeniowej samolotu szkoleniowego, które potwierdziły poprawność założeń w odniesieniu do działania nowych



czujników drabinkowych z siatką pomiarową wykonaną z użyciem farby elektroprowadzącej. Doktorant zbadał także skuteczność działania czujników, gdy były one wytworzone poza monitorowaną strukturą na folii antyadhezyjnej, a następnie do niej przyklejone. Wprowadzał również zmiany technologiczne przy nanoszeniu przewodzących ścieżek. Wyniki badań wstępnych pozwoliły na potwierdzenie skuteczności detekcji pęknięć i śledzenie ich propagacji w badanych rzeczywistych elementach konstrukcyjnych. Jednakże pozwoliły także na wykrycie różnic w działaniu komercyjnych czujników drabinkowych i czujników warstwowych wykonanych z przewodzących farb kompozytowych. Dla tych drugich przerywanie ścieżek następuje stopniowo wraz z rozwojem uszkodzenia, a nie gwałtownie jak w przypadku czujników komercyjnych. Nie obserwowano też skokowej zmiany poziomu napięcia, co bezsprzecznie wynika z różnic we właściwościach materiałów zastosowanych do wytworzenia obu typów czujników.

Wyniki badań mechanicznych, elektrycznych, termicznych oraz adhezyjnych materiałów zastosowanych do wytwarzania nowych czujników drabinkowych mgr inż. Artur Kurnyta przedstawił w rozdziale 5. Pozwoliły one na zdefiniowanie ograniczeń konstrukcyjnych i eksploatacyjnych czujników warstwowych na bazie past elektroprowadzących, a w szczególności na poznanie wpływu grubości warstwy izolacyjnej na transfer odkształceń z powierzchni elementu w powiązaniu z rodzajem materiału, z którego wytworzona jest warstwa izolacyjna. Obserwacje morfologii powierzchni farby elektroprowadzącej umożliwiły jakościową ocenę dyspersji, kształtu i rozmiarów przewodzącego napełniacza oraz jego upakowania w zależności od temperatury utwardzania. Przeprowadzone badania pozwoliły na stwierdzenie, iż warunki utwardzania farby przewodzącej elektrycznie mają wpływ na wartość nominalną rezystancji pojedynczej ścieżki, a także na stabilność czasową tego parametru. Na tej podstawie powstały rekomendacje co do sezonowania siatki pomiarowej po aplikacji lub jej utwardzania w temperaturze podwyższonej.

Doktorant stwierdził również, że przy projektowaniu siatki pomiarowej należy zapewnić odpowiednią separację kolejnych stabilnych poziomów dla czujnika w taki sposób, aby była większa od fluktuacji spowodowanych zmianą temperatury otoczenia. Wprowadził również modyfikacje dotyczące układu akwizycji danych. Badania na próbkach kompaktowych pozwoliły na potwierdzenie prawidłowości działania opracowanych czujników drabinkowych, zoptymalizowanych w efekcie badań materiałowych. Mgr inż. A. Kurnyta nie stwierdził



rozbieżności w działaniu czujników wytwarzanych osobno i klejonych do badanej struktury, w porównaniu do czujników wykonywanych bezpośrednio na badanej strukturze.

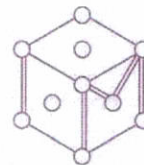
Pan Artur Kurnyta w pełni zrealizował cel pracy i potwierdził postawioną tezę. Istotnym elementem nowości w pracy jest przedstawienie wyników z wieloetapowej weryfikacji działania czujników drabinkowych. Opracowanie i weryfikacja nowych czujników drabinkowych pozwoliła na zwiększenie podatności użytkowej i eksploatacyjnej tej metody detekcji i monitorowania propagacji pęknięć, w porównaniu do czujników komercyjnych. Przeprowadzone badania pozwoliły też na rekomendacje co do warstwy izolacyjnej, wykonanej z żywicy epoksydowej, jako bardziej stabilnej w planowanym zakresie użytkowania czujników drabinkowych. Opracowane nowe czujniki pozwalają na dostosowanie kształtu siatki pomiarowej do konkretnej lokalizacji na konstrukcji.

Należy podkreślić, że przyjęty przez mgr inż. Artura Kurnytę zakres badań eksperymentalnych był obszerny. Doktorant przeprowadził również pełną charakterystykę materiałów zastosowanych do wytworzenia czujników. Dobór technik badawczych należy uznać za w pełni wystarczający dla udowodnienia postawionej tezy i osiągnięcia celu pracy. Doktorant wykazał się dobrą znajomością zastosowanych technik badawczych i umiejętnością interpretacji uzyskanych wyników. Przeprowadzone badania stanowią oryginalny wkład w rozwój wiedzy o monitorowaniu stanu technicznego konstrukcji lotniczych z wykorzystaniem czujników drabinkowych.

Uwagi i pytania do pracy

W trakcie recenzji pracy nasunęły się następujące pytania i uwagi:

1. Termin „nanocząsteczki” stosowany przez Doktoranta w pracy w odniesieniu do cząstek metali (np. na str. 40, 85 i wielu innych) nie jest poprawny. Termin cząsteczki stosowany jest do łańcuchów polimerowych, zaś w tym przypadku powinien być zastosowany termin „nanocząstki”, ponieważ są to nanometryczne ziarna o różnych kształtach z różnych materiałów.
2. Na str. 64 Doktorant podaje, że próbki poddano badaniom zmęczeniowym cyklicznego osiowego rozciągania. Wydaje się, że powinno być tu cykliczne rozciąganie i ściskanie.
3. W pracy zamiennie stosowane są określenia „plastyczne układy elektroniczne” i „elastyczne układy elektroniczne” (np. na str. 84). Tylko to drugie określenie jest poprawne.



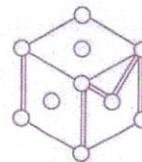
Polimery, takie jak poliimid, silikon czy poliuretan posiadają właściwości odpowiednio wymuszonej elastyczności lub wysokoelastyczne. Mają one co prawda niewielkie odkształcenia plastyczne, nie jest jednak poprawne nazywanie ich materiałami plastycznymi, a już na pewno nie można nazwać materiałem plastycznym żywicy epoksydowej, która jest krucha ze względu na duży stopień usieciowania.

4. Lakier poliuretanowy ma właściwości wysokoelastyczne, a nie lepkością jak Doktorant napisał na stronie 118. Błędny jest też wniosek z badań zmęczeniowych, przedstawiony na stronach 114 i 115, że po usunięciu obciążenia powrót odkształcenia do wartości początkowej świadczy o pracy lakieru PU w zakresie sprężystym. Poliuretany pracują w temperaturze pokojowej i wyższej wyłącznie w zakresie wysokoelastycznym, w którym zmianie ulega podczas odkształcania entropia, a nie entalpia układu i dlatego materiał powraca do stanu wyjściowego po zdjęciu obciążenia.

5. Brakuje pewnej systematyki odnośnie do stosowanych i badanych materiałów podłoża czujników drabinkowych. W rozdziale 4 mowa jest o podłożu poliimidowym i silikonowym, podczas gdy w rozdziale 5 badane są materiały podłoża wykonane z żywicy epoksydowych i lakierów poliuretanowych.

6. Zastosowany w pracy termin „relaksacja entalpii” nie jest poprawny. W trakcie badań DSC ciepło jest wydzielane lub pobierane przez próbkę, w zależności od rodzaju przemiany w materiale, co skutkuje zmianą entalpii i pojawieniem się piku odpowiednio egzo- lub endotermicznego. Błędnie na stronie 135 zostało podane, że badania DSC przeprowadzono za pomocą urządzenia DMA firmy TA Instruments. Zasada pomiaru za pomocą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) jest inna niż w analizie termomechanicznej (DMA). Pokazane na rysunku 5.31 krzywe ewidentnie świadczą o wykorzystaniu do pomiarów aparatu DSC.

7. Wątpliwości recenzenta budzą podane na stronie 139 grubości płatków srebra, ponieważ pomiar ich grubości na podstawie przedstawionych zdjęć SEM nie jest możliwy, a już na pewno jest obarczony bardzo dużym błędem. Na jakiej podstawie Doktorant stwierdził, że zawartość cząstek przewodzących jest na poziomie 60%, przy czym nie podał czy chodzi o udział wagowy, czy objętościowy.



Ocena końcowa

Pan mgr inż. Artur Kurnyta wykazał się dużą wiedzą w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i dojrzałością naukową, o czym świadczą wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie doktorskiej. Zrealizował cel i potwierdził tezę pracy. Uzyskane wyniki pozwoliły na wykazanie, że możliwa jest detekcja i kwantyfikacja długości pęknięcia propagującego w monitorowanej konstrukcji za pomocą autorskich czujników drabinkowych, wykonanych z kompozytowych lakierów elektroprzewodzących i polimerowej warstwy izolacyjnej. Kształt czujnika może być dostosowany do jego lokalizacji, a wyznaczenie rozmiaru uszkodzenia powiązane z geometrią siatki pomiarowej i określonymi własnościami rezystancyjnymi materiału czujnika.

Uzyskane w pracy wyniki są oryginalne, a praca ma wyraźny aspekt aplikacyjny. Rozprawa doktorska mgr inż. Artura Kurnyty przedstawia wartościowe wyniki eksperymentalne, a zamieszczone w recenzji uwagi nie umniejszają wartości przedstawionej do oceny rozprawy.

Podsumowując stwierdzam, że przedłożona do oceny rozprawa doktorska wykonana przez Pana mgr. inż. Artura Kurnytę spełnia w mojej opinii warunki stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna przez obowiązujące przepisy określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021r., poz. 478 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny rozprawy, aktualność podjętej tematyki, oryginalność uzyskanych wyników wnioskuję do Rady Dyscypliny o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Artura Kurnyty.

ABoalorle