

Łódź, dn. 03.11.2024 roku

**prof. dr hab. inż. Marcin Henryk Struszczyk**

Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”

Ul. M. Curie-Skłodowskiej 3

90-505 Łódź

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

mgr inż. Agaty Ponieckiej

o tytule:

***Właściwości mechaniczne kompozytów zawierających  
jako wzmocnienie haft techniczny wykonany z włókien  
lnianych***

wykonanej w Instytucie Architektury Tekstyliów,

na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów

Politechniki Łódzkiej

pod kierunkiem:

- dr hab. inż. Marcina Barburskiego, prof. uczelni.

## PODSTAWA NINIEJSZEJ RECENZJI

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej ***Właściwości mechaniczne kompozytów zawierających jako wzmocnienie haft techniczny wykonany z włókien lnianych*** została opracowana na podstawie uchwały 4/1/2024-2028 Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa z dnia 11 października 2024 roku, przywołanej w piśmie prof. dr hab. inż. Łukasza Kaczmarka, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa.

Wraz z ww. pismem dostarczono rozprawę doktorską mgr inż. Agaty Ponieckiej o tytule: *Właściwości mechaniczne kompozytów zawierających jako wzmocnienie haft techniczny wykonany z włókien lnianych* wykonanej w Instytucie Architektury Tekstyliów Politechniki Łódzkiej pod kierunkiem dr hab. inż. Marcina Barburskiego, prof. uczelni.

## UWAGI OGÓLNE

Zgodnie z art. 187 ust. 3 i 4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* [t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, 1088, 1234, 1672, 1872, 2005, z 2024 r. poz. 124, 227, 1089] do oceny przedstawiono, jako rozprawę doktorską, pracę pisemną (w formie drukowanej i elektronicznej na trwale zapisanym nośniku CD-RW) wraz ze streszczeniami: w języku polskim oraz angielskim.

Rozprawa doktorska liczy 197 stron i składa się z 12 głównych rozdziałów, numerowanych, w tym rozdział zawierający bibliografię (lista odnośników literaturowych przywołanych w pracy wynosi 155), w większości stanowiący zbiór publikacji w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Bibliografia zawiera także odnośniki do dokumentów normatywnych oraz prawidłowo opisanych odnośników do dokumentów elektronicznych, opublikowanych w sieci internetowych.

W pracy zamieszczono także spis tabel, spis ilustracji oraz załącznik dokumentujący szczegółowe parametry analizy cyklu życia przykładowego wyrobu, który może być wykonany przy zastosowaniu kompozytów wzmocnionych haftem. Na podkreślenie zasługuje także umieszczenie na początku rozprawy wykazu skrótów oraz symboli, co w istotny sposób polepsza czytelność pracy.

Rozprawa doktorska została przygotowana w sposób nieszablonowy, ponieważ dla rozdziałów omawiających realizowane badania przyjęto schemat uwzględniający każdorazowo opis stosowanych na tym etapie badań materiałów, metod oraz przeprowadzono analizę wyników badań oraz sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań.

Część pracy opisująca stan techniki, stanowiący gruntowną analizę potencjalnych luk badawczych w obszarze technik wzmacniania właściwości mechanicznych kompozytów konstrukcyjnych,

zawiera omówienia dokonań naukowych oraz praktycznych, stawiących podstawę do później zdefiniowanych tez naukowych (głównej oraz szczegółowych).

Zdefiniowany w pracy cel skupia się jedynie na ocenie właściwości mechanicznych, pozyskanych układów kompozytowych, natomiast nie odnosi się, co istotnie nie ujęto, do pozyskania kompozytów o zwiększonej funkcjonalności.

Obszar badawczy przedstawionej do recenzji pracy ma zdecydowanie charakter interdyscyplinarny. Przedmiot rozwiązania materiałowego jest projektowany technikami włókienniczymi oraz optymalizowany celem polepszenia właściwości mechanicznych, a pozyskana wiedza w zakresie parametrów mechanicznych została wykorzystana do modelowania numerycznego, które pozwoliło na sformułowanie wytyczanych do pozyskania, optymalnych ze względu na właściwości mechaniczne, nowych układów materiałowych.

Należy wskazać także na zastosowanie w pracy nowoczesnych metodyk umożliwiających nieniszczącą detekcję defektów w strukturze kompozytów (wynikających z zastosowania technologii haftu) oraz wprowadzenie istotnej dla polityk UE analizy cyklu życia (LCA) przykładowego wyrobu opracowanego zgodnie z zdefiniowanymi w pracy warunkami procesowymi. Jest to silny walor badań opisanych w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej. Dokumentuje on umiejętność wiązania przez Autorkę interdyscyplinarnych metodyk badawczych oraz poprawność analiz pozyskiwanych z nich wyników badań w szerokim zakresie dyscyplinarnym.

Praca kończy się analizą i dyskusją wyników z wykonanych badań oraz wnioskami końcowymi, odnoszącymi się do zdefiniowanych w pracy celów oraz postanowionych hipotez.

Dodatkowo, co warto podkreślić, Autorka pokusiła się na przedstawienie w końcowej części pracy trafnie zdefiniowanego następczego programu badań, zmierzającego do całościowej walidacji możliwości praktycznego zastosowania opracowanej technologii wzmacniania konstrukcji kompozytów przy zastosowaniu haftu technicznego.

Układ rozprawy, zdefiniowane założenia oraz program badań koncentrują się na pozyskaniu zarówno nowej wiedzy i umiejętności w obszarze struktur włókienniczych, układów kompozytowych, badań

nieniszczących oraz aspektów zrównoważonego rozwoju. Co istotne dla nauk technicznych, praca uwzględnia konieczność praktycznego zastosowania opracowanej technologii.

## ANALIZA STANU TECHNIKI

Analiza stanu techniki skupia się na przeglądzie literaturowym omawiającym szeroko rozumiane struktury kompozytowe, w tym kompozyty projektowane z zastosowaniem włókien naturalnych, technologie kompozytowe, techniki wytwarzania tkanin jako prekursorów układów kompozytowych, techniki haftu oraz surowce stanowiące osnowę i zbrojenie kompozytu.

W opisie state-of-the-art Autorka zawarła także aspekt zrównoważonego rozwoju w konotacji do produkcji i stosowania zaawansowanych układów kompozytowych, co pozwala na przemyślenie (rethink) dróg doskonalenia procesu wytwarzania oraz produktu układów kompozytowych, także w ujęciu środowiskowym.

Zastosowana metodologia opracowania stanu techniki, w odniesieniu do sposobu doboru literatury oraz metodologii analizy bibliografii, pozwala na potwierdzenie poprawności warsztatu naukowego Doktorantki oraz stanowi precyzyjną podstawę do zdefiniowania zarówno celów, jak i tez naukowych rozprawy.

Autorka nie ustrzegła się jednak w rozprawie drobnych błędów edytorskich lub trywialności tekstowych („*len jest najbardziej ekologiczny w uprawie*”, „*największe właściwości wytrzymałościowe*”, „*Natomiast zwiększenie liczby warstw haftu wpływa na poprawę stabilności wyników badań*”). Od strony 88 mylnie odniesiono się w tekście do numeracji poszczególnych rysunków.

We wstępie pracy ujęto, w odniesieniu do aspektu zrównoważonego rozwoju, jedynie zasadę reduce-reuse-recycle, nie odnosząc się do aktualnie stosowanej w tym obszarze zasady 6r (refuse-reduce-reuse-recover-recycle-rethning). Zwłaszcza, że istotne jest zastosowanie w odniesieniu do niniejszej pracy zasady rethning, popartej przeprowadzoną przez Autorkę analizą cyklu życia wyrobu.

Powyższe uwagi nie wpływają istotnie na jakość przedstawionej w rozprawie analizy stanu techniki, stanowiąc jedynie uwagi noszące znamiona konieczności doskonalenia swojego warsztatu. Zakres i metodologia przeprowadzonej analizy stanu techniki dokumentuje dostatecznie wiedzę i umiejętności Autorki w obszarze doboru doniesień literaturowych, ich analizy (m.in. analiza luk produktowych i technologicznych) oraz wnioskowania w zakresie zasad projektowania zaawansowanych struktur kompozytowych.

## TEZA I CEL PRACY

Autorka zdefiniowała w rozprawie jedną główną tezę oraz dwie tezy szczegółowe. Teza główna, która brzmi: *„Haft techniczny może z powodzeniem zastępować płaskie wyroby włókiennicze podczas wytwarzania kompozytów”* została poprawnie określona i odnosi się do zdefiniowanych w opisie stanu techniki luk materiałowych oraz procesowych.

Jako tezy szczegółowe określono: *„Wzdłużne ułożenie oraz zwiększenie ilości warstw haftowanego medium wpływa na poprawę właściwości mechanicznych kompozytów zawierających układy haftowane jako wzmocnienie”* oraz *„Produkcja kompozytów zawierających jako wzmocnienie haft techniczny wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju”* stanowiąc podstawę do poszukiwania w ramach procesów badawczych dowodów naukowych dokumentujących aspekty projektowania struktur włókienniczych/kompozytowych, weryfikacji ich właściwości mechanicznych, struktury oraz przeprowadzenia analizy cyklu życia wyrobu.

Daleko idącym jest jednak wskazanie w drugim celu szczegółowym terminu „produkcja”, ponieważ zakres realizowanych w pracy badań kwalifikuje je do maksymalnie TRL VI, czyli weryfikacji technologii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (laboratoryjnych), a dane pozyskane na tym etapie trudno odnosić do warunków operacyjnych, czy też rzeczywistych (czyli dla procesu realizowanego w warunkach przemysłowych).

Jako cel główny pracy określono przeprowadzenie oceny właściwości mechanicznych, zaprojektowanych kompozytów ze wzmocnieniem z włókien lnianych wykonanym techniką haftu. Cel ten nie jest jednak sparametryzowany (nie dookreślono oczekiwanych poziomów parametrów mechanicznych opracowanych kompozytów).

Samo przeprowadzenie oceny właściwości opracowanych układów kompozytowych, pojęciowo nie może stanowić celu realizacji badań, a istotniejszym jest parametryczne zdefiniowanie pożądanych właściwości projektowanego układu.

Dotyczy to także celów szczegółowych, które Autorka ujęła jako kierunkowanie właściwości mechanicznych kompozytów, pozyskanie optymalnych właściwości mechanicznych oraz opracowanie nowych układów kompozytowych z minimalizacją odpadów produkcyjnych. Niestety, nie sprecyzowano parametrycznie, co oznaczają optymalne właściwości oraz jaki sparametryzowany poziom minimalizacji odpadów produkcyjnych będzie akceptowalny.

## **CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA**

Część eksperymentalna rozprawy została omówiona szczegółowo w odrębnych rozdziałach, podzielonych przejrzysto na część definiującą metodykę, zastosowane materiały, opis wyników badań i ich dyskusje oraz wnioski szczegółowe.

Badania były prowadzone według precyzyjnie określonej przez Doktorantkę ścieżki projektowej, dzieląc ją na następujące etapy:

- (1) opracowania i weryfikacji właściwości jedno- lub trójwarstwowego haftu technicznego z włókien lnianych;
- (2) opracowania i weryfikacji właściwości modelowych układów kompozytowych, wzmocnionych sześcioma typami haftu technicznego różniących się orientacją zbrojenia;

- (3) opracowania i weryfikacji właściwości układów kompozytowych wzmocnionych haftem technicznym, tkaniną, jednokierunkowym niedoprzędem lnianym oraz różniących się długością haftu;
- (4) weryfikacji defektów struktury opracowanych układów kompozytowych technikami niemieszczącymi;
- (5) modelowania numerycznego struktur kompozytowych wmacnianych haftem technicznym oraz walidacji wyników modelowania numerycznego;
- (6) analizy cyklu życia dla przykładowego wyrobu kompozytowego wmacnianego haftem technicznym.

W ramach etapów 1 ÷ 3 przeprowadzono dobór oraz optymalizację, najpierw struktur włókienniczych, a następnie układów włókienniczych oraz kompozytowych ze względu na orientację włókien, liczbę warstw haftu, długość haftu.

Opracowane modelowe rozwiązania struktur włókienniczych – jedno i trzywarstwowe układy haftu (etap 1) zostały zweryfikowane pod kątem właściwości mechanicznych z uwzględnieniem wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy rozciąganiu. Proces weryfikacji miał na celu wybór optymalnego rozwiązania w odniesieniu do orientacji niedoprzędu lnianego oraz wytypowanie najlepszego układu do wykonania modelowego kompozytu. Stanowi to etap wyjściowy do projektowania złożonych układów kompozytowych, gdzie orientacja zbrojenia wpływa istotnie na właściwości mechaniczne.

Następnie, w etapie 2, Autorka wykonała, przy zastosowaniu żywicy epoksydowej jako osnowy, siedmiowarstwowe układy kompozytowe różniące się układem zbrojenia i zweryfikowała ich właściwości mechaniczne, oceniając wpływ orientacji zbrojenia wmacnianego haftem lnianym na istotne cechy mechaniczne modeli kompozytów.

Wobec powyższego oraz wskazanych w pracy aspektów zrównoważonego rozwoju rodzi się pytanie, czy Doktorantka rozważyła możliwość zastosowania biożywicy jako osnowy projektowanego kompozytu, co przyniosłoby istotny zysk w analizie cyklu życia produktu ?

Analiza wyników wytrzymałości oraz wydłużenia przy rozciąganiu, jak także odporności na zginanie pozwoliła na wybór układu o kierunkowanych optymalnie poziomach cech użytkowych, co wykorzystano

w ostatnim etapie projektowania, tzn. opracowania modeli kompozytów wzmocnionych haftem, tkaniną oraz jednokierunkowym niedoprzędem lnianym.

Proces projektowy przedstawiony w rozprawie jest precyzyjnie i logicznie sformułowany, uwzględniając następstwo kolejności uzyskania dowodów naukowych potwierdzających możliwość otrzymania optymalnych właściwości kompozytów. Proces optymalizacji właściwości układów kompozytowych uwzględnia etapowe kryteria akceptowalności poszczególnych kroków badawczych i w umiejętny sposób skierowany jest na pozyskanie struktur maksymalizujących oczekiwane właściwości.

Autorka poprawnie zwróciła uwagę na negatywny wpływ nieuporządkowanego ułożonego niedoprzędu lnianego, możliwość uszkodzenia struktury włókienniczej przez igły w czasie haftu oraz udokumentowała to w etapie 4 badań. Efekt ten negatywnie wpływa na właściwości mechaniczne opracowanych układów kompozytowych i będzie stanowić istotne wyzwanie w przyszłym procesie produkcyjnym (w przypadku jego skalowania) w odniesieniu do wymagań jakościowych oraz powtarzalności.

Opisane w rozprawie procesy formowania układów kompozytowych nie definiują precyzyjnie ciśnienia wewnątrz układu (podano w tekście „około 70 – 80 kPa”), czasu etapu utwardzania („ponad 4 godziny”) oraz czasu kondycjonowania („minimum 24 godziny”). W opisie materiałów stosowanych w poszczególnych etapach zabrakło identyfikacji metodyk badawczych (Tabele 5, 9) oraz edycji norm stosowanych do weryfikacji opracowanych układów (np.: PN-EN ISO 527-4, PN-EN ISO 13934-1, ISO 1404). Zwłaszcza to ostatnie nie pozwala na potwierdzenie aktualności zastosowanych metodyk badawczych.

Nie wskazano także metodyk badawczych do określenia mas powierzchniowych tkaniny lnianej, tkaniny bawełnianej oraz poliestrowej (str. 76, 112), jak także mas powiedzeniowych oraz stosunku objętościowego włókna do żywicy (tabele 14, 16, 18). Brak także w tych przypadkach odchyleń standardowych.

Należy także zwrócić uwagę, że pierwotnie należy stosować implementację polską norm (w tekście pojawiają się normy ISO, BS, np.: BS EN ISO 14125:1998, ISO 1404).

Identyfikacja zastosowanej infrastruktury B+R oraz materiałów nie zawiera typu urządzeń/producenta materiału oraz kraju pochodzenia.



Są to drobne nieścisłości, jednakże stanowią one o możliwość odtworzenia badań prowadzonych przez Autorkę.

W tekście występują także pewne niedoskonałości językowe w rodzaju: *„Dlatego ta wersja okazała się silniejsza niż wariant zawierający tkaninę UD”,* czy *„[...] iż przy wzroście wydłużenia śniła rozciągająca nie zwiększała swoje wartości.”*

W etapie 4, celem weryfikacji ryzyka wystąpienia uszkodzeń włókien przez igły w czasie haftu, Doktorantka przeprowadziła badania opracowanych przez siebie struktur układów kompozytowych, używając mikrotomografu komputerowego. Badania te potwierdziły możliwość wystąpienia mikrouszkodzeń włókien oraz ich przesunięcie wynikające z procesu haftu, co istotnie wpływa na właściwości mechaniczne opracowanych przez Autorkę kompozytów.

Należy podkreślić jako walor pracy szczegółowość wysnutych na bazie przeprowadzonych badań wniosków oraz opisów specyficznych zjawisk, które wynikają z procesu haftu. Potwierdzono także, że stopień zagęszczenia monofilamentu oraz nitki spodniej wpływa na polepszenie poziomów parametrów opisujących właściwości mechaniczne opracowanych kompozytów.

W następnym etapie Autorka pokusiła się o przeprowadzenie symulacji numerycznych, których celem było określenie wpływu długości ściegu, jego orientacji oraz liczby warstw w układzie kompozytowym na właściwości mechaniczne kompozytów wzmocnionych haftem. Pozwoliło to na walidację założeń technicznych rozprawy, wygenerowało nową wiedzę w zakresie opisu zjawisk w czasie projektowania istotnie złożonego układu kompozytowego, wzmocnianego haftem z włóknem lnianym.

Jest to ważny walor pracy, zwłaszcza, że stopień skomplikowania układu niezmiernie utrudnia przeprowadzenie symulacji numerycznych. Autorka posiłkowała się, tworząc model numeryczny, danymi własnymi, jak także pochodzącymi z publikacji naukowych, co zostało wskazane w rozprawie.

W ramach badań powstały dwa model numeryczne: haftu technicznego z niedoprzędu lnianego oraz kompozytu wzmocnionego haftem z niedoprzędu lnianego.

Proces opracowania symulacji numerycznej został w rozprawie opisany szczegółowo, co dokumentuje ugruntowaną wiedzę Doktorantki w obszarze badań numerycznych. Wyniki badań zostały zwalidowane

z wynikami badań eksperymentalnych. Należy jednak wskazać, że jako odchylenie zdefiniowano w pracy różnicę pomiędzy wartościami parametrów określonymi na modelu numerycznym oraz w rzeczywistości (tabele 23, 25). Właściwiej byłoby jednak określić stopień zgodności jako iloraz.

W tabeli 36 wartości wskazane jako różnice pomiędzy parametrami uzyskanymi z modelowania numerycznego oraz z danych rzeczywistych nie stanowią różnicy tych wartości.

W tabelach 32, 33, 34 podano część wyników dziesiętnych badań przedzielonych „,”, a nie jak ogólnie przyjęto w naszym naukowym kręgu kulturowym w postaci „,,”.

Ostatnim etapem procesu projektowego było przeprowadzenie analizy cyklu życia przykładowego wyrobu, wykonanego przy zastosowaniu technologii będącej przedmiotem rozprawy. Jest to istotny walor pracy, który w procesie projektowania uwzględnia także zasady zrównoważonego rozwoju, w tym w szczególności zasadę rethink.

Przeprowadzona analiza LCA wskazała, że wyrób wykonany z kompozytu wzmocnionego haftem z włókien lnianych posiada przewagę nad standardowym ekwiwalentem, w szczególności dla wpływu na zdrowie ludzkie w kryteriach globalnego ocieplenia, kancerogenności, toksyczności ogólnoustrojowej oraz zużycia wody.

Wymienione w recenzji słabe strony rozprawy nie wpływają sumarycznie na moją pozytywną ocenę procesu analitycznego oraz udokumentowanie kompetencji w zakresie projektowania oraz realizacji znacząco interdyscyplinarnych badań. Należy podkreślić, jako walor pracy, umiejętność Autorki do wyciągania trafnych i popartych argumentami naukowymi wniosków. Oryginalnością rozprawy jest także zaplanowanie dalszych badań dotyczących, m.in.: optymalizacji parametrów haftu, analizy wpływu rodzaju włókna oraz żywicy na właściwości docelowych kompozytów, jak także opracowanie układów kompozytowych kierunkowanych pod konkretne sektory przemysłu (rozdział 9.1. *Perspektywy dalszych badań*). Wskazuje to na chęć dalszego rozwoju przez Doktorantkę opracowanej technologii oraz wiarę graniczącą z pewnością, że technologia ta posiada istotny potencjał komercjalizacyjny.

Podsumowując, realizowane przez Autorkę rozprawy doktorskiej, badania mają charakter aplikacyjny, wygenerowały nowe zasoby wiedzy i umiejętności w obszarze technologii kompozytowych,

zwłaszcza w ujęciu materiałowym, procesowym z uwzględnieniem co najmniej jednej zasady zrównoważonego rozwoju, co wpłynęło na rozwój nauk w dyscyplinie naukowej: inżynieria materiałowa.

W szczególności dotyczy to zasobów wiedzy pozyskanych z opracowania i weryfikacji struktur włókienniczych i kompozytowych wzmocnianych haftem, opracowania wytycznych w zakresie kierunkowania właściwości kompozytów wzmocnianych haftem technicznych w oparciu o dane z symulacji numerycznych oraz weryfikacji struktur kompozytowych metodami nieniszczącymi i współprojektowania technologii z uwzględnieniem wytycznych zrównoważonego rozwoju.

Doktorantka udokumentowała w sposób dostateczny swój warsztat naukowy, zwłaszcza, co należy podkreślić jako walor, w obszarze definiowania luk technologicznych, umiejętnego projektowania programu badań i ścieżki projektowej oraz formułowania trafnych i szczegółowych wniosków na bazie pozyskanych danych badawczych.

To, co należy wskazać, to interdyscyplinarność pracy w zakresie metodologii, wiążąca badania eksperymentalne nad strukturami włókienniczymi oraz kompozytowymi z symulacjami numerycznymi, badaniami nieniszczącymi struktur kompozytowych i, końcowo, uwzględnieniem w programie badań analizy cyklu życia wyrobu. Widoczna jest wszechstronność prowadzonych analiz, ich interdyscyplinarność, łatwość łączenia dowodów naukowych, a także prawidłowość ich łączenia i interpretacji.

Końcowo należy stwierdzić, że wygenerowane przez Autorkę zasoby wiedzy oraz naukowe umiejętności niwelują wskazane przez mnie słabe strony rozprawy, w tym potknięcia edytorskie i terminologiczne. To powinno stanowić wskazanie do doskonalenia w przyszłej karierze naukowej mgr inż. Agaty Ponieckiej.

## **WNIOSKI KOŃCOWE**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Ponieckiej o tytule: *Właściwości mechaniczne kompozytów zawierających jako wzmocnienie haft techniczny wykonany z włókien lnianych*, spełnia kryteria stawiane przepisami art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie*

wyższym i nauce [t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, 1088, 1234, 1672, 1872, 2005, z 2024 r. poz. 124, 227, 1089] w stosunku do kandydatów w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

W szczególności rozprawa doktorska przedstawia i dostatecznie potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Agaty Ponieckiej w przywołanej powyżej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnej realizacji badań naukowych.

Przedmiotem rozprawy jest oryginalne, biorąc pod uwagę aktualny stan techniki, rozwiązanie problemu naukowego – opracowanie nowych rozwiązań kompozytowych wzmacnianych haftem technicznym z włókien lnianych, ich szeroką weryfikację oraz walidację.

Na powyższej podstawie wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

prof. dr hab. inż. Marcin H. Struszczyk