

Poznań, 17 sierpień 2025 r.

dr hab. Tomasz Stręk, prof. uczelni
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Mechaniki Stosowanej

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Damiana Mrówczyńskiego
pt.: „Modelowanie konstytutywne i homogenizacja papieru i tektury falistej”**

**Dziedzina: nauk inżynieryjno-technicznych
Dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna**

Podstawa prawna

Recenzja przygotowana została zgodnie z następującymi dokumentami:

Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z zmianami) z dnia 20 lipca 2018 r.

Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742 ze zmianami) z dnia 10 marca 2023 r.

Uchwała nr 365/2019 Senatu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 18 września 2019 r. w sprawie zasad postępowania w sprawie nadania stopnia doktora na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

Uchwała nr 2/12/2021 z dnia 16 grudnia 2021 roku Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w sprawie zatwierdzenia dodatkowych wymagań związanych z realizacją przewodów doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna na Wydziale Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu z dnia 5 czerwca 2025 roku.

Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna (dr. hab. inż. Krzysztofa Koszela, prof. UP) z dnia 23 czerwca 2025 roku (pismo WI.4000.3.2025).

1. Wstęp

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Damiana Mrówczyńskiego pt.: "Modelowanie konstytutywne i homogenizacja papieru i tektury falistej" przygotowana została pod opieką naukową promotora dr. hab. inż. Tomasza Garbowskiego (prof. UP) oraz promotora pomocniczego dr hab. inż. Anny Knitter-Piątkowskiej.

Rozprawa doktorska (osiągnięcie naukowe) oparte jest o cykl 6 publikacji naukowych. W jego skład wchodzi powiązane tematycznie niżej wymienione publikacje z lat 2021-2024.

Artykuł 1:

Garbowski, T., Gajewski, T., Mrówczyński, D., Jędrzejczak, R. (2021);
Crushing of Single-Walled Corrugated Board during Converting: Experimental and Numerical Study;

Energies, 2021, 14(11), 3203. <https://doi.org/10.3390/en14113203>

MNiSW = 140 pkt, IF = 3.252.

Artykuł 2:

Garbowski, T., Knitter-Piątkowska, A., Mrówczyński, D. (2021);
Numerical Homogenization of Multi-Layered Corrugated Cardboard with Creasing or Perforation;
Materials, 2021, 14(14), 3786. <https://doi.org/10.3390/ma14143786>

MNiSW = 140 pkt, IF = 3.748.

Artykuł 3:

Mrówczyński, D., Knitter-Piątkowska, A., Garbowski, T. (2022);
Numerical Homogenization of Single-Walled Corrugated Board with Imperfections;

Applied Sciences, 2022, 12(19), 9632. <https://doi.org/10.3390/app12199632>

MNiSW = 100 pkt, IF = 2.700.

Artykuł 4:

Mrówczyński, D., Garbowski, T. (2023);

Influence of Imperfections on the Effective Stiffness of Multilayer Corrugated Board;

Materials, 2023, 16(3), 1295. <https://doi.org/10.3390/ma16031295>

MNiSW = 140 pkt, IF = 3.100.

Artykuł 5:

Mrówczyński, D., Pozorska, J., Garbowski, T., Pozorski, Z. (2023);

Bending stiffness of unsymmetrical multilayered corrugated board: Influence of boundary conditions;

BioResources, 2023, 18(4), 7611-7628. <https://doi.org/10.15376/biores.18.4.7611-7628>

MNiSW = 100 pkt, IF = 1.747.

Artykuł 6:

Mrówczyński, D., Gajewski, T., Cornaggia, A., Garbowski, T. (2024);

Impact of Temperature and Humidity on Key Mechanical Properties of Corrugated Board;

Applied Sciences, 2024, 14(24), 12012. <https://doi.org/10.3390/app142412012>

MNiSW = 100 pkt, IF = 2.500

Łączna liczba IF wynosi dla tych publikacji 17.047, a suma punktów wg listy ministerialnej wynosi 720 pkt.

W tym miejscu recenzji warto zwrócić uwagę na fakt, że wszystkie artykuły z cyklu zostały opublikowane w formie „open access”, co pozwala na dostęp do nich każdemu zainteresowanemu tematyką. Mimo że niektórzy nie uznają pewnych wydawnictw należy zwrócić uwagę, że publikowanie w wydawnictwach do których otoczenie gospodarcze i społeczeństwo nie ma darmowego dostępu nie sprzyja intensyfikacji wpływu prac naukowych na gospodarkę.

Wymienione publikacje zostały opisane i załączone w rozprawie doktorskiej, która składa się z 12 części z których 6 jest numerowane (3 na początku pracy to wykaz skrótów, streszczenie w języku

polskim i angielskim; 3 na końcu pracy to literatura, kopie opublikowanych artykułów wchodzących w skład zbioru oraz oświadczenia doktoranta oraz współautorów artykułów). Rozprawa zawiera wykaz literatury liczący 70 publikacji. Liczy ono 155 stron a główny opis osiągnięcia zawarty jest na 33 stronach.

W kolejnych sześciu numerowanych rozdziałach autor zawarł: wstęp, cele rozprawy i hipotezę badawczą, materiały i metody badawcze, wyniki badań, dyskusje oraz wnioski.

Rozprawę należy zaliczyć do dyscypliny inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

2. Opis i ocena rozprawy doktorskiej

2.1. Treść rozprawy

Rozdział pierwszy zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki badań opisanych w rozprawie doktorskiej. Wskazano w nim na istniejące i nadal nierozwiązane problemy badawcze z zakresu podjętej tematyki badawczej. Zawarto w nim także układ treści rozprawy doktorskiej co podkreśliłoby wkład autora(-ów) w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

W drugim rozdziale doktorant przedstawia cele rozprawy i hipotezę badawczą. Celem badań opisywanych w rozprawie doktorskiej było rozwiązanie problemu naukowego, którym była ilościowa analiza wpływu czynników technologicznych i eksploatacyjnych na właściwości wytrzymałościowe tektury falistej, a także opracowanie metod numerycznych umożliwiających jego odwzorowanie i prognozowanie.

Doktorant postawił hipotezę stwierdzającą, że czynniki technologiczne i eksploatacyjne prowadzą do istotnych zmian właściwości mechanicznych tektury falistej. Wpływ tych czynników może być skutecznie oceniony oraz przewidywany z użyciem metod eksperymentalnych, metod homogenizacji oraz metod numerycznych (w tym MES).

W trzecim rozdziale autor przedstawił materiały i metody badawcze. Do przeprowadzenia testów laboratoryjnych wykorzystano urządzenie do przegniatania tektury (ang. crushing – CRS), maszynę do zginania, ścinania, skręcania i zgniatania krawędziowego (ang. box system estimation – BSE) oraz komorę klimatyczną. Maszyna CRS służy do precyzyjnego zgniatania tektury falistej w kontrolowanych warunkach, umożliwiające ocenę wpływu procesów przetwórczych, takich jak kaszerowanie, sztancowanie, bigowanie czy zadrukowywanie, na jakość i nośność tektury i opakowań. Maszyna BSE służy natomiast do precyzyjnego pomiaru sztywności tektury falistej w różnych warunkach obciążenia.

W rozprawie doktorskiej zastosowano metodę homogenizacji zaproponowaną przez Biancoliniego, rozszerzoną o efekty ścinania transversalnego zgodnie z teorią Mindlina-Reissnera. Dodatkowo stworzono reprezentatywny element objętościowy (ang. representative volume element – RVE), który jest małym powtarzalnym wycinkiem tektury falistej. Do precyzyjnej reprezentacji geometrii przekroju zastosowano natomiast modele elementów skończonych, co pozwoliło na odwzorowanie struktury i zbadanie właściwości mechanicznych materiału.

W tym rozdziale autor opisał również metody i materiały badane w poszczególnych artykułach (od 1 do 6).

W czwartym rozdziale doktorant opisał wyniki badań zaprezentowane w artykułach. Piąty rozdział stanowiła dyskusja wyników, a w szóstym przedstawiono wnioski.

W kolejnych częściach przedstawiono literaturę (70 pozycji) oraz kopie sześciu artykułów wchodzących w skład cyklu (zbioru) będących osiągnięciem naukowym doktoranta. Ostatnią część stanowią oświadczenia współautorów artykułów w cyklu.

2.2. Oryginalność rozprawy

W rozprawie doktorskiej podjęto ciekawy naukowo oraz badawczo problem ilościowej analizy wpływu czynników technologicznych (takich jak przegniecenie, bigowanie, perforacje), niedoskonałości geometryczne, oraz czynniki eksploatacyjne (wilgotność i temperatura) na właściwości mechaniczne tektury falistej oraz opracowanie metod numerycznych umożliwiających ich odwzorowanie i prognozowanie.

Do najważniejszych oryginalnych elementów rozprawy doktorskiej zaliczyć należy niżej wymienione przeprowadzone badania, ich wyniki i wnioski.

- W badaniach wykonano następujące testy: BNT (ang. bending stiffness test) – test sztywności na zginanie, SST (ang. shear stiffness test) – test sztywności na ścinanie, TST (ang. torsional stiffness test) – test sztywności na skręcanie, ECT (ang. edge crush test) – test zgniatania krawędziowego.
- Wszystkie analizowane parametry mechaniczne tektury falistej wykazują wyraźną zależność od stopnia przegniecenia, przy czym test ścinania najlepiej odzwierciedla poziom uszkodzenia materiału.
- Wytrzymałość na zgniatanie krawędziowe i grubość tektury falistej zmniejszają się w wyniku przegniecenia w podobnym stopniu.
- Perforacje wpływają na degradację parametrów mechanicznych tektury falistej.
- Uwzględnienie niedoskonałości geometrycznych prowadzi do zmniejszenia sztywności tektury.
- Sztywność tektury falistej w teście 4-punktowego zginania jest zależna od sposobu ułożenia próbki w maszynie badawczej i położenia podpór względem wierzchołków fali.
- Wilgotność i temperatura mają istotny wpływ na właściwości mechaniczne trzy- i pięciowarstwowej tektury falistej.
- W przypadku materiałów drewnopochodnych wyróżnia się dwa główne kierunki: kierunek maszynowy (MD) i kierunek poprzeczny (CD). Wytrzymałość papieru i tektury jest ponad dwukrotnie wyższa w kierunku MD niż w kierunku CD. Wynika to z tego, że w procesie produkcyjnym włókna układają się wzdłuż kierunku MD.
- Imperfekcje (niedoskonały kształt) podczas ściskania w kierunku CD mają mniejsze wartości względnego rozrzutu niż wyboczeniowy tryb ściskania w kierunku MD, a tym samym zmiana offsetu nie wpływa tak znacząco na sztywności.
- Na wyróżnienie w opinii zasługuje praktyczność podjętych badań naukowych oraz ich duży potencjał aplikacyjny.

2.3. Uwagi ogólne

Przedstawione w tej części recenzji ogólne uwagi do rozprawy są uwagami, które mogłyby poprawić formę rozprawy i jej wartość naukową.

Na jakość rozprawy wpływ ma brak matematycznych zapisów równań rządzących oraz warunków brzegowych, które używane były do opisu matematycznego rozwiązywanych problemów. Pojawiły się natomiast matematyczne równania opisujące związki konstytutywne materiałów/struktur analizowanych w badaniach i obliczeniach. Przykładowo na str. 15 doktorant pisze o „zależnościach różniczkowych” ale nigdzie one w rozprawie jak i artykułach nie są przedstawione.

W pewnych częściach rozprawy, w szczególności w rozdziałach 5 i 6, autor opisując swoje wyniki powinien odwoływać się do konkretnych rysunków, wykresów i tabel w swoich artykułach. Ułatwiłoby to czytelność i zwiększyło przejrzystość. Przykładowo (strona 19) autor pisze: „Wyniki zestawione w tabeli pokazują ...”, ale nie podaje w jakiej tabeli w artykule 1 można wniosek autorów artykułu zaobserwować.

W rozprawie doktorant często używa przymiotników do nazw poszczególnych etapów badań naukowych, np.: zaawansowane metody numeryczne, efektywne modelowanie, precyzyjny pomiar, szczegółowa analiza czy też dużo lepsza korelacja. Czy w badaniach naukowych pomiar nie powinien być precyzyjny, a analiza szczegółowa?

Zawarte w rozprawie zestawienia oświadczeń współautorów artykułów mogłyby zawierać procentowy udział autorów w pracach nad poszczególnymi artykułami. Obecnie można uznać udział współautorów za porównywalny w każdym z artykułów gdyż prace przypisane do autorów często się powtarzają. Nie jest to krytyka ale prośba o dokładniejsze zdefiniowanie udziałów w postaci liczbowej.

W badaniach numerycznych związanych z metodą elementów skończonych (MES) doktorant używał elementów powłokowych (shell) o zadanej grubości. Jest to uproszczenie pełnego modelu trójwymiarowego skracające czas obliczeń, ale wpływające na ich dokładność. Czy doktorant zbadał porównując wyniki obliczeń z użyciem modelu powłokowego (shell) z wynikami z użyciem modelu pełnego 3D (solid)? Choćby dla podstawowego elementu RVE powtarzalnego elementu tektury falistej.

Doktorant we wnioskach stwierdził wpływ wilgotności i temperatury na właściwości tektury falistej. Jak ten wpływ można uwzględnić w modelu matematycznym analizowanych problemów, np. w związkach konstytutywnych?

2.4. Uwagi szczegółowe

We wstępie (rozdział 1) doktorant opisuje stan wiedzy w temacie rozprawy i cytuje różne prace innych autorów. Gdy opisuje swoje osiągnięcia naukowe swoich prac nie cytuje, a warto by te prace również uwzględnić opisując cele, tezy itd.

Autor pisze o 3-węzłowych trójkątnych elementach płytowych (S3) (strona 16) czy też 4-węzłowych elementach płytowych. Ponieważ brak zapisów matematycznych rozwiązywanych równań różniczkowych cząstkowych trudno zagwarantować słuszność użycia liniowych elementów skończonych (czyli liniowych funkcji kształtu na zadanych elementach skończonych o różnych kształtach).

Zasadne jest więc zadanie pytania autorowi o to jakie równania różniczkowe cząstkowe można rozwiązać poprawnie używając metody elementów skończonych z liniowymi elementami skończonymi.

Na stronie 27 w punkcie 5 autor pisze, że sztywność tektury falistej w teście 4-punktowego zginania jest zależna od sposobu ułożenia próbki w maszynie badawczej i położenia podpór względem wierzchołków fali, a efekt ten wzrasta wraz z poziomem przekroju tektury.

Czy da się określić najlepsze ułożenie próbki w maszynie i położenie podpór tak by pomiar sztywności tektury falistej był optymalny czy obarczony jak najmniejszym błędem?

Natomiast w punkcie 6 (strona 27) autor pisze, że wilgotność i temperatura mają istotny wpływ na właściwości mechaniczne tektury falistej oraz że wyższa temperatura w połączeniu z niższą wilgotnością korzystnie wpływa na parametry wytrzymałościowe tektury, podczas gdy niższa temperatura i wyższa wilgotność prowadzą do ich osłabienia.

Czy doktorant zna wykresy pokazujące wpływ wilgotności i temperatury na właściwości (mechaniczne, termiczne) papieru z którego wytworzona jest tektura falista? Czy zmiana materiału (rodzaj papieru) z którego wykonana jest tektura falista może zmienić znacząco jej właściwości?

Na stronie 73 i dalszych (artykuł 3, sekcja 2.2-2.3) autorzy piszą o RVE i wartościach efektywnych tektury. Zabrakło wyjaśnienia jakie warunki brzegowe zastosowano i jak te wartości efektywne wyznaczono (wyliczono).

We wzorze 10 na stronie 75 brak jest wyjaśnienia znaczenia oznaczenia {area}.

Co autor/autorzy mieli na myśli pisząc w artykule 4 (str. 12 artykułu, 95 w rozprawie): „The imperfection shape of the compression...”?

3. Wniosek końcowy

Podsumowując opis, ocenę i uwagi dotyczące rozprawy doktorskiej przedstawione w poprzednich częściach recenzji uważam, że rozprawa doktorska, przygotowana przez mgr. inż. Damiana Mrówczyńskiego, stanowi oryginalny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Doktorant rozwiązał w rozprawie problem naukowy, a to rozwiązanie znajduje zastosowanie w sferze gospodarczej. Rozprawa doktorska prezentuje również ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta ubiegającego się o nadania stopnia doktora. Wskazuje ona również na umiejętność samodzielnego prowadzenia przez doktoranta pracy naukowej.

Uwagi dyskusyjne i krytyczne zawarte w części 2.3-2.4 recenzji nie mają zasadniczego wpływu na końcową ocenę pracy, którą oceniam bardzo pozytywnie. Wyjaśnienie pewnych wątpliwości recenzenta co do udziału w badaniach innych osób oraz szczegółowy udział procentowy doktoranta w poszczególnych artykułach mogą pozwolić na zaproponowanie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej jeśli udział doktoranta będzie dominujący. Prezentacja tych procentowych udziałów może mieć miejsce podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Na podstawie dokonanej recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez Ustawę o stopniach i tytule naukowym i składam wniosek o jej przyjęcie oraz dopuszczenie mgr. inż. Damiana Mrówczyńskiego do publicznej obrony.

Tomasz Stręk