

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
Wydział Inżynierii Mechanicznej

PROTOKÓŁ

z publicznej obrony rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Jakuba MICHALSKIEGO,
przeprowadzonej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej
Politechniki Poznańskiej w dniu 17 listopada 2023 r.

Poznań, 17 listopada 2023 r.

PROTOKÓŁ

z publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba MICHALSKIEGO, przeprowadzonej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej w dniu 17 listopada 2023 r.

Publiczna obrona rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba MICHALSKIEGO pt. „Odporność na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem auksetycznym” odbyła się przed Komisją powołaną przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna ds. przewodu doktorskiego w składzie:

1. dr hab. inż. Roman STAROSTA – **przewodniczący**
2. prof. dr hab. inż. Michał NOWAK
3. dr hab. inż. Dorota CZARNECKA-KOMOROWSKA, prof. uczelni
4. dr hab. inż. Piotr PACZOS, prof. uczelni
5. dr hab. inż. Paweł POPIELARSKI, prof. uczelni
6. dr hab. inż. Krzysztof TALAŚKA, prof. uczelni (nieobecny)
7. dr hab. inż. Hubert JOPEK
8. dr hab. Tomasz STRĘK, prof. uczelni – **promotor**
9. prof. dr hab. inż. Jarosław JĘDRYSIAK – **recenzent** (nieobecny)
10. dr hab. inż. Dariusz PERKOWSKI, prof. uczelni – **recenzent**
11. dr hab. inż. Tomasz KLEKIEL, prof. uczelni – **recenzent**

Podczas obrony nieobecni byli dwaj członkowie Komisji: dr hab. inż. Krzysztof TALAŚKA, prof. uczelni oraz prof. dr hab. inż. Jarosław JĘDRYSIAK. Funkcję sekretarza posiedzenia pełnił dr inż. Paweł FRITZKOWSKI.

Otwarte posiedzenie Komisji rozpoczął Przewodniczący dr hab. inż. Roman STAROSTA, który powitał Doktoranta, Promotora pracy doktorskiej, Recenzentów oraz pozostałych członków Komisji, a także przybyłych gości.

Przewodniczący poinformował, że przyjęcie rozprawy przez Komisję nastąpiło w dniu 16 czerwca 2023 r. Oznajmił również, że mgr MICHALSKI zdał wszystkie wymagane egzaminy doktorskie.

Na prośbę Przewodniczącego obrad sekretarz odczytał życiorys Doktoranta (załącznik nr 1).

Następnie Przewodniczący poprosił pana Jakuba MICHALSKIEGO o zreferowanie głównych tez rozprawy doktorskiej. Poinformował również wszystkie osoby obecne o możliwości zadawania Doktorantowi w formie pisemnej pytań dotyczących pracy.

Prezentację rozprawy pt. „Odporność na przebicie płyty warstwowej z rdzeniem auksetycznym” mgr MICHALSKI ujął w następujących punktach:

1. Płyty warstwowe
2. Auksetyki
3. Cele rozprawy doktorskiej
4. Teza pracy
5. Zastosowane metody obliczeniowe
6. Analizy przebicia płyt homogenicznych
7. Analizy przebicia płyt z rdzeniem anty-tetra-chiralnym
8. Analizy przebicia płyt z rdzeniem 4-star
9. Testy fizyczne płyt wykonanych techniką przyrostową
10. Wnioski
11. Literatura

Przewodniczący podziękował Doktorantowi za zwięzłą prezentację pracy i poprosił Promotora o przedstawienie swojej opinii.

Dr hab. Tomasz STRĘK stwierdził, że przedłożona rozprawa doktorska podejmuje ważny aspekt modelowania właściwości mechanicznych płyt warstwowych z różnego rodzaju rdzeniami porowatymi. W szczególności Doktorant zajmował się badaniem wpływu współczynnika Poissona (dodatniego lub ujemnego) materiałów na odporność płyt na przebicie.

Opublikowane prace, których współautorem jest mgr MICHALSKI, oraz wygłoszone przez niego referaty stanowią rezultat wielu symulacji komputerowych bazujących na metodzie elementów skończonych. Eksperymenty numeryczne wymagające dużych mocy obliczeniowych Doktorant przeprowadził dzięki zasobom udostępnionym przez Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS) w ramach grantu obliczeniowego. Symulacje dynamiczne przeprowadzono w programie Abaqus/Explicit, natomiast weryfikację i modyfikację współczynnika Poissona dla różnych geometrii rdzenia wykonano w systemie COMSOL.

Ponieważ autor rozprawy nie dysponował możliwościami wydrukowania modelu z metalu, prace eksperymentalne zrealizował dla struktur wydrukowanych z żywicy metodą sterolitografii. Niemniej wyniki badań doświadczalnych stanowią potwierdzenie i wartościowe rozszerzenie symulacji numerycznych.

W ocenie dr. hab. STRĘKA autor rozprawy poprawnie podszedł do postawionego problemu naukowego. Przeprowadzona przez niego analiza literatury, badania numeryczne i eksperymentalne oraz wyciągnięte wnioski potwierdziły tezę pracy. Otrzymano wartościowe wyniki, które mogą znaleźć wiele praktycznych zastosowań – od branży lotniczej i wojskowej (elementy osłon balistycznych) do inżynierii biomedycznej (elementy wzmacniające ochronę tkanek i organizmów). Ponadto zrealizowane cele rozprawy stanowią solidną podstawę do dalszych badań uwzględniających m.in. inne rodzaje materiałów badanych struktur oraz inne prędkości obiektów je przebijających. Promotor stwierdził, że praca mgr. MICHALSKIEGO spełnia wszystkie wymogi ustawowe stawiane rozprawom doktorskim.

Następnie Przewodniczący poprosił recenzentów o wygłoszenie swoich opinii. Recenzje kolejno przedstawili:

Dr hab. inż. Dariusz PERKOWSKI, prof. uczelni na początku poprosił Przewodniczącego o możliwość pominięcia opisu zawartości pracy, szeroko nakreślonej przez Promotora. Następnie odczytał uwagi ogólne i szczegółowe.

Zdaniem Recenzenta przedłożona rozprawa jest oryginalna i wartościowa, napisana zwracając uwagę na szczegóły. Choć tematyka podjęta przez Doktoranta wpisuje się w badania o charakterze podstawowym, zaproponowane podejście stanowi istotny wkład do

problematyki naukowej związanej z rozwojem modelowania ośrodków o strukturze warstwowej. Uzyskane wyniki wyróżniają się potencjałem praktycznego zastosowania do obliczeń i projektowania elementów warstwowych z rdzeniem strukturalnym. Przedstawione podejście do modelowania i projektowania elementów ochronnych odpornych na przebicie może być użyteczne w rozmaitych aplikacjach inżynierskich. Jest to szczególnie ważne w obliczu coraz wyższych wymagań stawianych materiałom i konstrukcjom. W ocenie Recenzenta opracowane nowe modele numeryczne oraz rezultaty wykonanych symulacji poparte wynikami testów fizycznych mogą znaleźć szerokie uznanie.

Następnie Recenzent odczytał uwagi krytyczne i dyskusyjne. W szczególności stwierdził, że niejasne jest, dlaczego w przypadku kompozytów z rdzeniem o strukturze plastra miodu przyjęto tylko orientację równoległą do przekładek. W pracy pominięto również badanie kolejnych etapów niszczenia materiału podczas przebicia. Ponadto Doktorant nie przeprowadził analizy wyników w kontekście warstwy przejściowej pomiędzy rdzeniem a przekładkami. Według Recenzenta komentarza wymaga także sposób modelowania zjawiska wybożenia i jego wpływ na uzyskane wyniki.

W podsumowaniu dr hab. inż. Dariusz PERKOWSKI stwierdził, że opiniowana rozprawa spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim i postawił wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Tomasz KLEKIEL, prof. uczelni poprosił Przewodniczącego o możliwość pominięcia ogólnych uwag dotyczących tematyki, zakresu i struktury rozprawy. Następnie przedstawił ocenę merytoryczną pracy oraz uwagi krytyczne.

W ocenie całości rozprawy Recenzent stwierdził, że wszystkie cele badawcze sformułowane przez Doktoranta zostały osiągnięte. Po pierwsze, przeprowadzone obliczenia pozwalają ocenić odporność analizowanych struktur na przebicie. Po drugie, wykazano przewagę płyt z rdzeniami auksetycznymi w porównaniu ze strukturami zbliżonymi, ale nie wykazującymi cech auksetycznych. Ponadto wyniki badań symulacyjnych wskazują, że odpowiedni dobór wymiarów geometrycznych struktur wpływa na poprawę ich odporności na przebicie. Co więcej, testy fizyczne potwierdziły wnioski płynące z wyników obliczeń numerycznych. Zdaniem Recenzenta mgr MICHALSKI wykazał się solidnymi umiejętnościami w zakresie modelowania komputerowego. Jak wiadomo, zagadnienia dynamiczne i prawidłowe ich rozwiązanie wymaga olbrzymiego kunsztu i doświadczenia.

Odczytując uwagi krytyczne, Recenzent stwierdził, że metodyka przyjęta w trakcie planowania badań budzi pewne wątpliwości. Na przykład w rozdziale piątym zaprezentowano wyniki odporności płyty homogenicznej dla różnych współczynników Poissona, a w kolejnych rozdziałach zabrakło konsekwencji, by potwierdzić, czy analizowane struktury wykazują tę samą tendencję. Ponadto Doktorant nie przedstawił metody określania podobieństwa struktur auksetycznych i nieauksetycznych ani sposobu doboru parametrów materiałowych przyjętych w obliczeniach. Nie dokonał również wystarczającej analizy tego, jak właściwości materiałowe wpływają na zdolności badanych struktur do pochłaniania czy dyssypacji energii. W pracy zabrakło także określenia kryteriów, na podstawie których przyjęto wartości wymiarów geometrycznych poszczególnych struktur. Pomimo tych uwag, zdaniem Recenzenta rozprawa doktorska jest oryginalnym i wartościowym opracowaniem naukowym, a jej autor biegle porusza się w swojej tematyce badawczej.

Ostatecznie dr hab. inż. Tomasz KLEKIEL stwierdził, że opiniowana praca odpowiada warunkom ustawowym stawianym rozprawom doktorskim i postawił wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Ze względu na nieobecność **prof. dr. hab. inż. Jarosława JĘDRYSIAKA**, trzecia recenzja rozprawy doktorskiej została odczytana przez sekretarza.

W swojej opinii Recenzent zamieścił dwie uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym. Po pierwsze, Doktorant nie wyjaśnił w pracy, na jakiej podstawie przyjął określone liczby elementów skończonych w poszczególnych symulacjach komputerowych. Po drugie, cennym uzupełnieniem pracy byłoby porównanie wyników testów fizycznych z rezultatami odpowiedniej symulacji numerycznej. Niestety autorowi nie udało się uzyskać danych materiałowych dla materiału, z którego wydrukowano próbki do badań eksperymentalnych.

W recenzji prof. JĘDRYSIAK zwrócił również uwagę na oryginalne elementy rozprawy. Eksperymenty numeryczne dla warstwowych płyt homogenicznych wykazały znaczny wpływ współczynnika Poissona rdzenia na odporność na przebicie. W przypadku płyt z rdzeniem anty-tetra-chiralnym oraz z rdzeniem 4-star wyniki wskazują na większą odporność tych płyt na przebicie w stosunku do ich odpowiedników z rdzeniem nieauksetycznym. Ponadto dla struktur z rdzeniem 4-star pokazano możliwość redukcji efektywnego współczynnika Poissona poprzez zmianę parametrów geometrycznych. Wykonane testy fizyczne potwierdziły zwiększoną odporność płyt auksetycznych na przebicie. Wszystkie te elementy rozprawy pozwoliły Doktorantowi potwierdzić postawioną tezę.

W ocenie końcowej prof. dr. hab. inż. Jarosław JĘDRYSIAK stwierdził, że opiniowana rozprawa spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim i postawił wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Po wysłuchaniu opinii recenzentów Przewodniczący dr hab. inż. Roman STAROSTA poprosił Doktoranta o udzielenie odpowiedzi na uwagi i pytania zawarte w recenzjach.

Odpowiedzi na pytania dr. hab. inż. Dariusza PERKOWSKIEGO, prof. uczelni

Recenzent uznał wszystkie odpowiedzi otrzymane od autora na piśmie (załącznik nr 2) za satysfakcjonujące. Wobec tego ustalono, że Doktorant odniesie się tylko do jednej przykładowej kwestii.

Mgr Jakub MICHALSKI odpowiedział na pytanie, dlaczego w przypadku kompozytów z rdzeniem o strukturze plastra miodu przyjęto tylko orientację równoległą do przekładek. Stwierdził, że w literaturze często spotykane są płyty o orientacji rdzenia prostopadłej do okładzin, ale głównie dotyczy to badań w zakresie tłumienia drgań. Natomiast w pracy doktorskiej skupiono się na dynamicznym badaniu płyt o orientacji rdzenia równoległej do okładzin, aby łatwo sprawdzić wpływ auksetyczności w kierunku uderzenia na odporność na przebicie i zaobserwować wspomniane w pracy zjawisko kumulacji materiału wokół miejsca uderzenia. Gdyby ta auksetyczność dotyczyła innego kierunku, to należałoby myśleć o innego rodzaju obciążeniach i badaniach. Oczywiście warto zastanawiać się nad takimi rozwiązaniami, gdyż płyty o innej orientacji rdzenia również znajdują zastosowania w praktyce.

Odpowiedzi na pytania dr. hab. inż. Tomasza KLEKIELA, prof. uczelni

Recenzent uznał odpowiedzi otrzymane od Doktoranta na piśmie (załącznik nr 3) za wysoce satysfakcjonujące. Podobnie jak poprzednio, ustalono, że mgr MICHALSKI ustosunkuje się do wybranej uwagi krytycznej zawartej w recenzji.

Doktorant odniósł się do pytania o to, dlaczego nie przeprowadził symulacji odzwierciedlającej w pełni wykonany eksperyment. Jak stwierdził, najlepszym rozwiązaniem byłoby odzwierciedlenie w symulacjach testu fizycznego, czyli uderzenia w płyty

z żywicy. Inną możliwością było wykonanie eksperymentu dla płyty badanej wcześniej numerycznie (wykonanej ze stopu aluminium). W przypadku pierwszego podejścia problemem jest prawidłowe zamodelowanie żywicy użytej do wykonania próbek. Wynika to z wielu czynników, takich jak brak odpowiednich danych od producenta, wymóg szeregu testów w specjalnych warunkach do określenia stałych modelu Johnsona-Cooka (w tym stałych zniszczenia), specyfika modelu Johnsona-Cooka (przeznaczony głównie do metali), potencjalna konieczność opisu szczególnych zjawisk zachodzących w żywicy, wpływ procesu wytwarzania przyrostowego na zachowanie materiału, itp. Te wszystkie aspekty wskazują, że uzyskanie zadowalającej zgodności wyników byłoby bardzo trudne i czasochłonne. Natomiast drugie podejście byłoby utrudnione przez problematyczne i kosztowne wytwarzanie tego typu konstrukcji ze stopów metali. Są to jednak zagadnienia, które mogą stanowić przedmiot ewentualnych przyszłych badań.

Przewodniczący poprosił recenzentów o ustosunkowanie się do wypowiedzi Doktoranta. Recenzenci przyjęli uzyskane odpowiedzi.

Następnie dr hab. inż. Roman STAROSTA otworzył dyskusję i poprosił mgr. inż. Jakuba MICHALSKIEGO o udzielenie odpowiedzi na pytania zadane przez członków Komisji oraz przybyłych gości.

Pytanie od dr. hab. inż. Huberta JOPKA: Czy badany był wpływ wielkości komórek rdzenia na odporność na przebicie dla poszczególnych struktur? Jeśli tak, to jaki był ten wpływ?

Odpowiedź: Aspekt wielkości komórek został uwzględniony w tym dodatkowym przypadku, który omawiałem podczas prezentacji. Początkowo komórki rdzenia były stosunkowo duże w porównaniu z wymiarami pocisku. Następnie komórki zostały dwukrotnie zmniejszone, upakowano ich więcej w obrębie całej struktury. Zrobiono to jedynie dla rdzenia anty-tetra-chiralnego, natomiast dla struktury 4-star nie sprawdzono takiego wariantu. Niemniej jednak po zmianie wielkości komórek uzyskano podobne wyniki.

Pytanie od dr. hab. inż. Huberta JOPKA: Czy w badaniach wzięto pod uwagę miejsce uderzenia pocisku/bijaka w stosunku do geometrii pojedynczej komórki rdzenia?

Odpowiedź: Wykonano eksperymenty numeryczne z punktem uderzenia pocisku przesuniętym względem środka płyty. Zatem nie analizowano tego na poziomie pojedynczej struktury, tylko dla całej płyty. Ale wpływ tego odsunięcia miejsca uderzenia od środka zbadano w trzech dodatkowych testach dla rdzenia anty-tetra-chiralnego.

Komentarz dr. hab. inż. Huberta JOPKA: Zauważono jakąś różnicę w związku z tym przesunięciem?

Odpowiedź: Ogólnie zależności przemieszczenia czy prędkości pocisku od czasu były jakościowo podobne. Ale udało się zauważyć wyraźnie większe różnice pomiędzy przypadkiem auksetycznym a nieauksetycznym.

Pytanie od dr. hab. inż. Doroty CZARNECKIEJ-KOMOROWSKIEJ, prof. uczelni: Czy przeniósł Pan swoje obliczenia teoretyczne do warunków rzeczywistych, np. płyt z kompozytów polimerowych typu „sandwich”, tj. polimer-metal?

Odpowiedź: Jak rozumiem, dokładnie odpowiedziałem na to pytanie, ustosunkowując się do uwagi zawartej w recenzji prof. KLEKIELA?

Komentarz dr hab. inż. Doroty CZARNECKIEJ-KOMOROWSKIEJ, prof. uczelni: Tak, oczywiście może Pan przejść do kolejnego pytania.

Pytanie od dr hab. inż. Doroty CZARNECKIEJ-KOMOROWSKIEJ, prof. uczelni: Jaka jest różnica pomiędzy udarnością a przebiciem materiałów? Bowiem dla tworzyw sztucznych i kompozytów są to dwie różne metody badań?

Odpowiedź: Większość analiz spotykanych w literaturze ogranicza się do badania udarności bez przebicia struktur. Natomiast w rozprawie doktorskiej badałem pełne przebicie (z całkowitą penetracją) – również w testach fizycznych przeprowadzonych na próbkach wykonanych z żywicy. Warto tutaj wspomnieć, że zjawisko kumulacji materiału/struktury auksetycznej wokół miejsca uderzenia łatwiej zaobserwować w przypadku, gdy nie występuje przebicie. Można by dodatkowo przeprowadzić testy uderzeń bez przebicia, ale w tej pracy skupiono się tylko na wariancie z penetracją struktury przez pocisk.

Pytanie od dr hab. inż. Doroty CZARNECKIEJ-KOMOROWSKIEJ, prof. uczelni: Dlaczego do wykonania próbek techniką 3D zastosowano materiał sztywny i kruchy, czyli żywicę światłoutwardzalną? Czy rozważał Pan inne materiały polimerowe?

Odpowiedź: Wynikało to z dostępnej metody wytwarzania płyt (stereolitografia) i użytej drukarki 3D. Ta metoda pozwala uzyskać bardzo dokładne, precyzyjne wydruki, ale użyta żywica jest krucha. Między innymi dlatego nie przeprowadzono badań numerycznych dla płyt z żywicy – model Johnsona-Cooka, zastosowany w przypadku płyt aluminiowych, jest przeznaczony głównie do ciągliwych metali. Natomiast żywica ma zupełnie inne właściwości. Mimo tego dobrze sprawdzała się w testach fizycznych – pocisk kruszył płytę, przechodząc przez kolejnej jej warstwy, ale nadal można było zaobserwować omawiane w pracy zjawiska.

Pytanie od dr. hab. Tomasza STRĘKA, prof. uczelni: Czy w swojej pracy naukowej oraz zawodowej zainteresowały Pana jakieś inne metamateriały, nie tylko metamateriały auksetyczne? Jak wyglądały symulacje komputerowe tych metamateriałów?

Odpowiedź: Jak wiadomo, metamateriałów jest naprawdę wiele. Chociaż w samej pracy skupiałem się tylko na odporności na przebicie struktur auksetycznych, we wcześniejszych badaniach, na początku studiów doktoranckich analizowałem auksetyki również pod innymi względami. W szczególności zajmowałem się wytrzymałością zmęczeniową, mechaniką pękania, tłumieniem drgań, zagadnieniami termicznymi, a nawet akustyką. Nie badałem natomiast innych metamateriałów „ujemnych”, takich jak materiały o ujemnej rozszerzalności cieplnej.

Pytanie od dr. hab. inż. Tomasza KLEKIELA, prof. uczelni: Jakie było kryterium usuwania elementów siatki w symulacjach przebicia płyty?

Odpowiedź: W systemie Abaqus zaimplementowane jest rozszerzenie modelu plastyczności Johnsona-Cooka, nazwane zniszczeniem dynamicznym. W modelu tym kluczową rolę odgrywa tzw. parametr zniszczenia, który zależy od przyrostu ekwiwalentnych odkształceń plastycznych oraz od odkształceń przy zniszczeniu. Te ostatnie opisane są przez pięć stałych, których wartości przyjęto na podstawie literatury. Jeżeli wartość parametru zniszczenia przekroczy 1, dochodzi do zniszczenia elementu – element skończony jest w pewnym sensie usuwany z siatki i dalszych obliczeń.

Pytanie od dr. hab. inż. Pawła POPIELARSKIEGO, prof. uczelni: Kiedy porównuję na fotografii – pokazanej na jednym ze slajdów – obie próbki użyte w testach fizycznych, wydaje mi się, że ta po prawej stronie ma strukturę gęściej upakowaną. Czy brano pod uwagę wpływ różnicy przekroju struktury auksetycznej i nieauksetycznej?

Odpowiedź: W przypadku porównania tego typu struktur, pewnych różnic w masie i geometrii nie da się uniknąć. Starano się zminimalizować wpływ tych czynników w jak największym stopniu, m.in. odpowiednio dobierając wymiary komórek jednostkowych i przeprowadzając dodatkowe analizy dla płyt o zrównanych masach. Najbliżej odpowiadające sobie struktury auksetyczne i nieauksetyczne to *re-entrant* i *hexagonal honeycomb*, ale one były już wielokrotnie omawiane w literaturze. Warto również podkreślić, że w testach fizycznych badano uderzenia pocisków w różne miejsca płyt i za każdym razem otrzymywano podobne rezultaty – płyta nieauksetyczna zawsze ulegała przebiciu całkowicie albo w większym stopniu niż płyta auksetyczna.

Pytanie od dr. hab. inż. Pawła POPIELARSKIEGO, prof. uczelni: Czy zastanawiał się Pan, w jaki sposób można by wykonać z aluminium struktury analizowane w symulacjach komputerowych?

Odpowiedź: Faktycznie wytworzenie takich struktur z metalu byłoby kłopotliwe. Istnieją metody bazujące na technikach przyrostowych czy na wytwarzaniu materiału z proszków metali. Jednak jest to kosztowne, czasochłonne i problematyczne. Są również techniki wykonywania konstrukcji warstwowych z klasycznym rdzeniem typu *honeycomb* – można je dosyć łatwo wykonywać z blachy. Natomiast kształty struktur badanych w mojej rozprawie są bardziej złożone, dlatego zapewne należałoby je zmodyfikować, może uprościć.

Komentarz dr. hab. inż. Pawła POPIELARSKIEGO, prof. uczelni: Zmierzam do tego, że w Pana symulacjach ścianki struktury rdzenia płyty oraz okładziny mają wyraźnie różne grubości. Jeżeli Pan to wykona z metalu, to – pomimo identycznego materiału – właściwości tych elementów będą inne. Zastanawiał się Pan nad tym?

Odpowiedź: Badany był również przypadek ze znacznie mniejszą grubością okładzin, bardziej zbliżoną do grubości rdzenia. W modelu numerycznym zastosowano powłokowe elementy skończone. Podobnie jak dla pozostałych wariantów, uzyskane wyniki wskazywały na wyraźną przewagę płyty auksetycznej. Przypadek ten nie został jednak opisany w pracy.

Pytanie od dr. hab. inż. Dariusza PERKOWSKIEGO, prof. uczelni: Dlaczego w rozprawie przyjęto tylko jedną wartość prędkości pocisku?

Odpowiedź: Inne prędkości pocisków były rozważane podczas doboru prędkości do ostatecznych badań numerycznych. Wybrano taką prędkość, która gwarantowała całkowite przebicie płyt, przy zachowaniu warunków, jakie można spotkać w przypadku dział gazowych. W teście fizycznym prędkość pocisku nie była zmieniana, ponieważ wynikała z charakterystyki dostępnego pistoletu na CO₂, ale dobierano odpowiednią prędkość do testu przebicia bijakiem. Potencjalne przyszłe badania mogłyby uwzględniać mniejsze prędkości pocisków, nie prowadzące do całkowitego przebicia struktur.

Pytanie od dr. hab. inż. Dariusza PERKOWSKIEGO, prof. uczelni: Dlaczego w badaniach uwzględniono tylko jeden, podstawowy kształt pocisku?

Odpowiedź: Kształt pocisku dobrano po wykonaniu prób dla różnych jego geometrii. Wybrany wariant okazał się najlepszy pod względem uzyskiwanego efektu przebicia płyt. Pocisku nie dobierano w oparciu o rozwiązania dostępne w przemyśle zbrojenio-

wym, a raczej w oparciu o działa gazowe. Geometria pocisku jest jednym z głównych aspektów, którym można poświęcić przyszłe badania.

Pytanie od dr. hab. inż. Romana STAROSTY: Zagadnienie, które Pan rozwiązuje w pracy, jest trójwymiarowe. Natomiast wszystkie analizowane struktury są płaskie, wyciągnięte w trzecim kierunku. Czy rozważał Pan badanie struktur trójwymiarowych?

Odpowiedź: Komórek auksetycznych 3D, takich jak *re-entrant 3D*, nie brano pod uwagę w pracy doktorskiej. Ich modelowanie i wytwarzanie jest utrudnione. Być może konieczna byłaby zmiana podejścia do modelowania, np. użycie elementów belkowych zamiast powłokowych. Niemniej jest to interesujący temat ewentualnych dalszych prac. Podobnie jak struktury z wypełnieniem.

Pytanie od dr. hab. inż. Romana STAROSTY: W jaki sposób mierzono prędkość pocisków w testach fizycznych?

Odpowiedź: Prędkość pocisku nie była mierzona. Określano ją na podstawie parametrów pistoletu na CO₂ (wiatrówki). Niestety szybka kamera nie pozwalała aż tak dokładnie uchwycić ruchu pocisku, aby wyznaczyć prędkość.

Po wyczerpaniu pytań Przewodniczący ogłosił przerwę w części jawnej posiedzenia. Komisja kontynuowała obrady podczas zamkniętego (niejawnego) posiedzenia w sprawie wniosku o nadanie mgr. inż. Jakubowi MICHALSKIEMU stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Po zakończeniu niejawnego części posiedzenia Przewodniczący dr hab. inż. Roman STAROSTA odczytał postanowienia Komisji. Poinformował, że Komisja jednomyślnie podjęła decyzję o wystąpieniu do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z wnioskiem o nadanie mgr. inż. Jakubowi MICHALSKIEMU stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

Pan Jakub MICHALSKI podziękował Promotorowi, Recenzentom i Komisji, a także wszystkim zebranym za obecność i uwagę.

Na tym posiedzenie zakończono.

Sekretarz



dr inż. Paweł FRITZKOWSKI

Przewodniczący



dr hab. inż. Roman STAROSTA

Załączniki:

1. Życiorys Doktoranta
2. Kserokopia listu Doktoranta do prof. dr. hab. Jarosława JĘDRYSIAKA z odpowiedziami na uwagi zawarte w recenzji
3. Kserokopia listu Doktoranta do dr. hab. inż. Dariusza PERKOWSKIEGO, prof. uczelni z odpowiedziami na uwagi zawarte w recenzji
4. Kserokopia listu Doktoranta do dr. hab. inż. Tomasza KLEKIELA, prof. uczelni z odpowiedziami na uwagi zawarte w recenzji

PROTOKÓŁ

**z niejawnego posiedzenia Komisji Doktorskiej
w dniu 17 listopada 2023 r.
ws. nadania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych
mgr. inż. Jakubowi MICHALSKIEMU**

Pełny skład Komisji Doktorskiej:

1. dr hab. inż. Roman STAROSTA – **przewodniczący**
2. prof. dr hab. inż. Michał NOWAK
3. dr hab. inż. Dorota CZARNECKA-KOMOROWSKA, prof. uczelni
4. dr hab. inż. Piotr PACZOS, prof. uczelni
5. dr hab. inż. Paweł POPIELARSKI, prof. uczelni
6. dr hab. inż. Krzysztof TALAŚKA, prof. uczelni (nieobecny)
7. dr hab. inż. Hubert JOPEK
8. dr hab. Tomasz STRĘK, prof. uczelni – **promotor**
9. prof. dr hab. inż. Jarosław JĘDRYSIAK – **recenzent** (nieobecny)
10. dr hab. inż. Dariusz PERKOWSKI, prof. uczelni – **recenzent**
11. dr hab. inż. Tomasz KLEKIEL, prof. uczelni – **recenzent**

Komisja obradowała bez udziału dwóch osób: prof. dr hab. inż. Jarosława JĘDRYSIAKA oraz dr hab. inż. Krzysztofa TALAŚKI, prof. uczelni. Funkcję sekretarza pełnił dr inż. Paweł FRITZKOWSKI.

Przewodniczący otworzył niejawną część obrad, prosząc członków Komisji o wyrażenie swoich opinii na temat rozprawy doktorskiej oraz jej obrony. Głos zabrali kolejno:

Dr hab. inż. Tomasz KLEKIEL, prof. uczelni: Doktoranta poznałem dzisiaj. Czytając jego pracę, nasuwały mi się pewne pytania i wątpliwości. Ale po jego dzisiejszej prezentacji jestem pod głębokim, pozytywnym wrażeniem. Jestem jeszcze bardziej przekonany, że należy mu nadać stopień doktora. Wie, o czym mówi, a na każde pytanie odpowiada merytorycznie. Nie wykazuje żadnych braków w przygotowaniu.

Dr hab. inż. Dariusz PERKOWSKI, prof. uczelni: Oczywiście będę głosował za nadaniem panu MICHALSKIEMU stopnia doktora. Było widać, że orientuje się on w temacie; bardzo szybko i szeroko odpowiada na wszelkie pytania. Dodatkowo część wyników przedstawionych w rozprawie opublikowano w renomowanych czasopiśmie, co również stanowi potwierdzenie wartości włożonej pracy.

Prof. dr hab. inż. Michał NOWAK: Praca doktorska nie odbiega poziomem od innych, tzn. została przygotowana na właściwym poziomie. Trochę brakowało mi tutaj

szerszego przedstawienia świata auksetyków – wybrano pewien specyficzny układ i na tym koniec. Uważam, że jeżeli chodzi o obszar badawczy, to zabrakło wskazania, jakie są charakterystyczne aspekty projektowania materiału auksetycznego.

Dr hab. inż. Dorota CZARNECKA-KOMOROWSKA, prof. uczelni: Moim zdaniem Doktorant pokazał dzisiaj swoją dojrzałość młodego naukowca. Przedstawił wyniki pracy, którą przez dłuższy czas realizował w dobrym towarzystwie naukowym. Poza tym wspaniale odpowiadał na wszystkie pytania. Potrafi szeroko i merytorycznie odnieść się do danej kwestii. Tematyka pracy również mi się podoba. Na pewno trudnością jest tutaj odniesienie się do różnych rzeczywistych materiałów. Podsumowując, będę w pełni popierała wniosek o nadanie panu MICHALSKIEMU stopnia doktora.

Dr hab. inż. Hubert JOPEK: Przede wszystkim chciałbym zwrócić uwagę na to, że każdy z członków Komisji zajmuje się naukowo różnymi obszarami, a jednak wszyscy najwyraźniej odnaleźli się w tym temacie, o czym świadczyła bogata dyskusja. Oczywiście każdy z nas mógłby wskazać, co jeszcze można by umieścić w pracy. Ale to tylko potwierdza, że temat został sensownie podjęty i można go dalej rozwijać. Z całą pewnością Doktorant pokazał, że wie, o czym mówi – mimo wszystko nie zawsze zdarzają się podczas obrony tak owocne dyskusje. Jak najbardziej będę głosować za nadaniem stopnia doktora.

Dr hab. inż. Piotr PACZOS, prof. uczelni: Faktycznie na podstawie pytań i dyskusji widzieliśmy, że jest wiele możliwości rozbudowania tematyki pracy. Sam temat też jest bardzo ciekawy. Miałem okazję wcześniej poznać Doktoranta, bo pomagałem w realizacji eksperymentu. Przez ten krótki czas współpracy pan MICHALSKI pokazał, że rozumie badane zagadnienie. Ponadto był zaangażowany w tę współpracę. Na pewno poprę wniosek o nadanie stopnia doktora.

Dr hab. inż. Paweł POPIELARSKI, prof. uczelni: Praca jest bardzo ciekawa. Podobał mi się sposób prezentacji tematyki przez Doktoranta. Widziałem tę prezentację już chyba trzeci raz, bo była ona przedstawiana m.in. na seminarium wydziałowym. Widać, że mgr MICHALSKI coraz lepiej czuje się w swoim obszarze badawczym. Dobrze się z nim dyskutuje, choć czasem mam wrażenie, że za dużo opowiada i robi wywody, tj. brakuje krótkiej, zwartej odpowiedzi na pytanie. Ale to wynika z tego, że Doktorant jest w stanie swobodnie poruszać się po tej tematyce. Oczywiście będę głosować za nadaniem mu stopnia.

Dr hab. Tomasz STRĘK, prof. uczelni: Dziękuję Państwu za te pozytywne opinie. Niestety ubolewam, że pan Jakub nie będzie pracował na uczelni. Przechwyciła go firma, która kiedyś była dystrybutorem Abaqusa. Pan MICHALSKI prowadzi szkolenia, stąd pewnie ta umiejętność elokwentnego wypowiedzania się. Tematyka pracy faktycznie jest ciekawa. Zanim temat rozprawy się wykrystalizował rozważaliśmy kilka potencjalnych kierunków badań. Okazało się, że ten ostatecznie obrany jest najbardziej interesujący – istnieje stosunkowo mała liczba publikacji o podobnej tematyce. Mam nadzieję, że uda się jeszcze coś w tym obszarze zrobić, bo pole do działania jest bardzo duże.

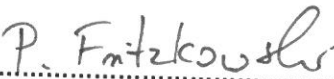
Dr hab. inż. Roman STAROSTA: Podzielim to, co Państwo mówiliście o Doktorancie. Moją uwagę również zwróciła ta jego elokwencja – chwilami może nawet nadmierna. Prezentacja zawierała prawie sto slajdów, ale pan MICHALSKI przedstawił je bardzo sprawnie. Znamiennej cechą tej obrony była obszerna dyskusja. Jak widzieliśmy, niektóre

rzeczy można było zrobić inaczej, sporo było dyskusyjnych elementów rozprawy. Jednak bardzo pozytywnie oceniam obronę i z pewnością będę głosował za nadaniem stopnia doktora.


Po wysłuchaniu wszystkich opinii Przewodniczący zarządził tajne głosowanie w sprawie przyjęcia obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba MICHALSKIEGO. Komisja jednomyślnie podjęła decyzję o wystąpieniu do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z wnioskiem o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Na tym część niejawną posiedzenia zakończono.

Sekretarz


.....
dr inż. Paweł FRITZKOWSKI

Przewodniczący


.....
dr hab. inż. Roman STAROSTA