

PROTOKÓŁ

**z obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jana Polaka na temat: “BUILDING PARAMETRIC
GEOMETRIC MODELS FOR CAD SYSTEMS BASED ON TOPOLOGICAL
OPTIMIZATION RESULTS”
odbytej w trybie stacjonarnym**

Dnia 20 listopada 2023 o godz. 10:00 odbyła się publiczna obrona doktorska mgr. inż. Jana Polaka na temat: „ BUILDING PARAMETRIC GEOMETRIC MODELS FOR CAD SYSTEMS BASED ON TOPOLOGICAL OPTIMIZATION RESULTS”

W skład komisji weszli:

Przewodniczący Komisji:	Prof. dr hab. inż. Olaf Ciszak	Politechnika Poznańska
Promotor:	prof. dr hab. inż. Michał Nowak	Politechnika Poznańska
Recenzenci:	prof. dr hab. inż. Bogdan Bochenek	Politechnika Krakowska
	dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód	Technological University of the Shannon, Ireland
Członkowie komisji	dr hab. inż. Piotr Krawiec, prof. PP dr hab. inż. Paweł Jasion dr hab. inż. Witold Stankiewicz dr hab. inż. Robert Starosta dr hab. inż. Grzegorz Ślaski dr hab. inż. Maciej Tomaszewski dr hab. inż. Rafał Talar	Politechnika Poznańska
Sekretarz Komisji:	mgr inż. Kamil Sędłak	

Przebieg publicznej obrony doktorskiej

1. W trakcie inauguracji publicznej obrony pracy doktorskiej, Przewodniczący Komisji Egzaminacyjnej powitał członków komisji, kandydata na doktora oraz zgromadzonych gości. W swoim wstępie, Przewodniczący przedstawił chronologię przebiegu procedury doktorskiej, rozpoczynając od otwarcia przewodu doktorskiego dnia 22 maja 2018 roku, poprzez przyjęcie pracy doktorskiej na dzień 9 października 2023 roku. Następnie odnotowano, iż kandydat na doktora przystąpił do egzaminów doktorskich w ramach podstawowej dziedziny naukowej 'Komputerowe wspomaganie projektowania', jak również w dodatkowych dyscyplinach 'Podstawy ekonomii' oraz 'Język nowożytny', z których to we wszystkich uzyskał pozytywne oceny. Po przedstawieniu tych informacji, Przewodniczący przekazał głos Promotorowi pracy doktorskiej, aby ten mógł zaprezentować sylwetkę oraz życiorys kandydata na doktora.
2. Następnie Doktorant przedstawił główne tezy rozprawy doktorskiej oraz prezentację wyników otrzymanych w ramach pracy.
3. Po prezentacji odczytana została opinia Promotora dotycząca rozprawy doktorskiej
4. Przedstawienie opinii Recenzentów
 - a. Odczytana została Recenzja_prof. dr hab. inż. Bogdan Bochenek, Politechnika Krakowska
 - b. Odczytana została Recenzja dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód, Technological University of the Shannon, Ireland
5. W ramach otwartej dyskusji publicznej, umożliwiono recenzentom zadanie pytań dotyczących pracy doktorskiej. Dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód podkreślił potrzebę rozszerzenia dyskusji na temat struktur wykorzystywanych w przetwarzanych algorytmach oraz definicji pojęcia 'Mesh', odnoszących się do pracy doktoranta. W odpowiedzi, doktorant wyjaśnił, że termin 'Mesh' w kontekście jego pracy odnosi się do powierzchniowej siatki elementu, składającej się z wierzchołków trójkątów, które tworzą pliki STL, będące wynikiem algorytmu. Ta powierzchniowa siatka, zgodna z formatem STL, zapewnia charakterystykę geometrii obiektów.

W kontekście metody elementów skończonych, doktorant wyjaśnił, że w każdym węźle generowane są obliczenia statyczne, a wykorzystanie tetraedrów w algorytmie pozwala na

zastosowanie sześcienniej interpolacji liniowej, co znacząco poprawia jakość wyników. Podkreślił także, że siatka w metodzie elementów skończonych korzysta z dyskretyzacji, gdzie sposób interpolacji jest kluczowy dla określenia rozkładu w obszarach bez ciągłości punktów.

W odniesieniu do pytania o skeletonizację, doktorant wyjaśnił, że szkielet bryły to zbiór linii, które zachowują topologię i są równomiernie rozmieszczone względem powierzchni bryły. Wskazał, że algorytm skeletonizacji wykorzystuje paradygmat optymalizacji strukturalnej, który polega na wyrównaniu energii na powierzchni bryły. Podkreślił, że ten aspekt był pominięty w definicjach algorytmów przedstawionych w pracy z uwagi na specyfikę podejścia do optymalizacji strukturalnej.

W trakcie publicznej dyskusji Doktorantowi zadano następujące pytania:

- 1) dr hab. inż. Grzegorz Ślaski:
 - a) Czy zaproponowana metoda i narzędzia informatyczne zostały lub zostaną udostępnione lub skomercjalizowane w celu zebrania opinii szerszego grona użytkowników o jej użyteczności w procesie projektowym.
- 2) dr hab. inż. Witold Stankiewicz:
 - a) Jaki algorytm został użyty do skeletonizacji? (Skreślone / odpowiedź pojawiła się w wypowiedzi Doktoranta uprzednio w trakcie prezentacji)
 - b) Jak przetwarzane są obrazy siatki topologii zbliżonej do płyty / powierzchni (a nie belek)?

Odpowiedzi Doktoranta:

Ad. 1 a)

Metoda zostanie rozpowszechniona w formie publikacji oraz konferencji, samo zaś oprogramowanie będzie przedmiotem kolejnych wniosków projektowych. Na obecnym etapie zaś wskazano, iż oprogramowanie można udostępnić inżynierom celem wykorzystania go w procesie badawczym i naukowym; niemniej oprogramowanie ma obecnie status oprogramowania badawczego i nosi ograniczenia wynikające z ograniczeń projektowych, niemniej jest oprogramowaniem Open-Source.

Ad. 2 a)

Odpowiedź padła w trakcie prezentacji.

Ad. 2 b)

Dokonano testów, gdzie funkcja celów wyznaczania finalnego szkieletu w bryle została dostosowana tak, aby zminimalizować cechę, iż elementy cylindryczne minimalizować tworzenie płyt i wyznaczyć cylinder zgodny ze średnicą płyty. Zaś w wynikach optymalizacji występują spłaszczone struktury, które zobrazowana na przygotowanych demonstratorach technologii ukazanych jako rekwizyty w czasie obrony.

Dalej otwarta została dyskusja, gdzie zadano pytania:

- od prof. Romana Starostę, o węzeł konstrukcyjny, gdzie nie ma symetrii w elemencie przestrzennym; odpowiedzią było, iż małe zaburzenie, które pojawia się na początku optymalizacji, a źródłem jest algorytm dyskretyzacji zadania, który nie dzieli elementów w sposób symetryczny. Samo zaś oprogramowanie automatyzuje cięcie zadania w formie pliku STL, gdzie sam zaś wynik optymalizacji podany jako demonstrator to synteza wielu przypadków obciążenia, gdzie podane są siły o różnych wartościach, co dodatkowo potwierdza brak symetrii z uwagi na powiązanie wyniku z zadanymi obciążeniami.

W dalszej części dyskusji, zgłoszono pytanie z publiczności dotyczące efektów optymalizacji struktury, przekształcanej następnie na model CAD, oraz potencjalnej utraty korzyści wynikających z optymalizacji w wyniku stosowania algorytmów skeletonizacji. Jako odpowiedź przedstawiono procedurę semiautomatyczną, która wspiera tworzenie obiektów z wykorzystaniem algorytmów opracowanych w ramach pracy doktorskiej. Zwrócono uwagę na to, że siły ścinające są szczególnie niekorzystne dla elementów belkowych, co wymaga dodatkowego wzmocnienia niektórych elementów modelu, aby zapobiec uproszczeniom w geometrii, co zostało wcześniej zaprezentowane.

Odniesiono się również do kwestii algorytmu ewolucyjnego, określanego mianem 'heuristic refinement', gdzie algorytm ten dokonuje przeszukiwania lokalnej przestrzeni, a ogólna idea działania polega na zamianie szkieletu na zestaw belek. W celu lepszego dopasowania rozwiązania do siatki wyjściowej, algorytm przeszukuje lokalną przestrzeń, dopasowując wynik do siatki.

Na koniec, pojawiło się zapytanie odnośnie do wykonania elementów w ramach projektu, zrealizowanych metodami odlewania grawitacyjnego oraz metodami binder jetting ze stali nierdzewnej. W kontekście tej dyskusji zaznaczono, że choć technologia produkcji nie jest

bezpośrednio związana z tematem pracy, istotnym aspektem jest wsparcie dla procesów wykonawczych na etapie projektowania, uwzględniając działanie optymalizatora, tak aby rozmaite cechy struktury znajdowały odzwierciedlenie w procesach wytwórczych."

W trakcie ostatecznego etapu obrony dysertacji doktorskiej, Przewodniczący Komisji Egzaminacyjnej zadał pytanie kandydatowi na doktora dotyczące kluczowych aspektów jego pracy naukowej. Zagadnienie to koncentrowało się na metodach optymalizacji strukturalnej, ze szczególnym uwzględnieniem maksymalizacji sztywności konstrukcji. Analiza ta obejmowała wpływ implementacji algorytmu skeletonizacji oraz procesów przygotowawczych modelu do symulacji, z uwzględnieniem dynamiki zmian naprężeń, wytrzymałości, sztywności oraz masy analizowanych obiektów.

Dyskusja koncentrowała się również na zachowaniu struktury pod wpływem naprężeń w kontekście zastosowanych algorytmów. Podkreślono, że zastosowana metoda optymalizacji zapewnia równomierną dystrybucję energii na powierzchni struktury, przy czym kryterium Von Misesa nie zostało przekroczone w żadnym z punktów analizy. W kontekście skeletonizacji z użyciem algorytmów, zaobserwowano zmiany w odkształceniu elementów strukturalnych.

Autor podkreślił także, że opracowane algorytmy i oprogramowanie efektywnie wspierają analizę wielu scenariuszy obciążeń oraz technologii wykonania. Prezentowane podejście integruje trzy kluczowe strategie: wykorzystanie modeli CAD, adaptację siatek konstrukcyjnych do bezpośredniego druku metodami addytywnymi, a także połączenie obu tych strategii, co zostało szczegółowo omówione w ramach pracy doktorskiej oraz w powiązanej artykule.

6. Po wyczerpaniu pytań i udzieleniu odpowiedzi Przewodniczący zamknął publiczną część obrony doktorskiej. Członkowie Komisji przystąpili do dyskusji.
7. Członkowie Komisji przystąpili do głosowania nad uchwałą o przyjęciu publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr inż. Jana Polaka i wnioskiem skierowanym do Rady Wydziału o nadanie stopnia doktora nauk technicznych mgr inż. Jana Polaka; dodatkowo dr hab. inż. Mirosław Mrzygłód zarekomendował wyróżnienie rozprawy.
8. Wynik głosowania w sprawie wniosku o nadanie stopnia doktora nauk technicznych:

Uprawnionych:	11
Głosowało:	11
„tak”	11

„nie”	0
„wstrzymuję się”	0
Głosy nieważne	brak

9. Po ogłoszeniu wyniku głosowania Przewodniczący Komisji poprosił na salę Doktoranta oraz publiczność i zakomunikował im wyniki głosowania. Doktorant podziękował Promotorowi, Recenzentom oraz Członkom Komisji i publiczności.