

dr hab. inż. Ireneusz Wróbel, prof. ATM
Katedra Podstaw Budowy Maszyn
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Woźnickiego
pod tytułem

**Tworzenie narzędzi automatyzujących wybrane etapy analiz MES w oparciu o informacje
typu design racjonalne**

promotor pracy: prof, dr hab. inż. Jerzy Pokojski

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn
Roboczych Politechniki Warszawskiej prof, dr hab. inż. Piotra Przybyłowicza.

SIMR.520.13.2022 z dnia 30.05.2022 r.

1. Formalna prezentacja rozprawy

Rozprawa doktorska zawiera 141 stron, składa się ze streszczenia i dziewięciu głównych rozdziałów. W pierwszym rozdziale przedstawiono koncepcję budowy komputerowych narzędzi do zarządzania wiedzą i doświadczeniem inżynierskim związanym z procesem projektowania. Zaprezentowano filozofię narzędzi KBE (*Knowledge Based Engineering*), DA [*Design Automation*] oraz DR (*Design Rationale*). Rozdział drugi to przegląd literatury z zakresu realizowanej pracy doktorskiej. W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił firmę (międzynarodową korporację), która zajmuje się projektowaniem i produkcją foteli samochodowych, w której Doktorant pracuje od wielu lat. Zaprezentowany został sposób projektowania i analizowania konstrukcji foteli, przedstawiono specyfikę pracy inżynierów

zajmujących się analizami MES konstrukcji foteli samochodowych. Rozdział czwarty opisuje ewolucję platformy projektowej opartej na standardach budowy modeli MES, z narzędziami automatyzującymi pracę inżynierów analityków. Treść rozdziału piątego stanowi opis narzędzi, które zostały opracowane w celu uproszczenia i przyspieszenia pracy inżynierów budujących modele dyskretne foteli samochodowych. W rozdziale szóstym Doktorant zaprezentował koncepcję systemu zarządzania modelem wiedzy inżynierskiej. Rozdział siódmy to prezentacja wyników eksperymentu mającego na celu ocenę opracowanych narzędzi automatyzujących budowę modeli MES przez inżynierów praktyków. Rozdział ósmy zawiera podsumowanie i wnioski. Bibliografia rozprawy doktorskiej zawiera 68 pozycji. Tytuł pracy jest adekwatny do jej zawartości.

2. Ocena merytoryczna pracy

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Woźnickiego dotyczy dwóch bardzo ważnych zagadnień, jakie pojawiają się w pracy inżynierów zajmujących się projektowaniem skomplikowanych konstrukcji w branży samochodowej. Pierwsze zagadnienie dotyczy wszelkich kwestii związanych z automatyzacją pracy wykonywanej przez inżynierów budujących bardzo zaawansowane modele dyskretne konstrukcji) na potrzeby analiz Metodą Elementów Skończonych. Do drugiej grupy zagadnień poruszanych w pracy doktorskiej można zaliczyć problemy z zarządzaniem szeroko pojętą wiedzą inżynierską związaną z projektowanymi obiektami. Oba omawiane zagadnienia są bardzo ważne w codziennej praktyce inżynierskiej, którą można zaobserwować zwłaszcza w przemyśle samochodowym.

Tezę pracy doktorskiej sformułowano następująco: „Możliwe jest zbudowanie platformy projektowej MES dla złożonego produktu, w sposób stopniowy i dostosowany do potrzeb i warunków istniejącego procesu projektowego. Równocześnie możliwe jest połączenie wiedzy inżynierskiej z jej implementacją w narzędziach KBE oraz śledzenie zmian i ewolucji tej wiedzy”.

Nie przedstawiono formalnego celu pracy doktorskiej.

Doktorant w realizacji pracy doktorskiej wykorzystał swoje bardzo bogate doświadczenie związane z pracą w przemyśle samochodowym. Obiektami badań były konstrukcje foteli

samochodowych. Są to bardzo skomplikowane struktury, podlegające licznym wymaganiom normatywnym związanym przede wszystkim z bezpieczeństwem i komfortem użytkownika oraz technologią ich wykonania. Należy podkreślić, że standardy, którym podlegają fotele samochodowe ciągle ewoluują zgodnie ze zmieniającymi się wymaganiami bezpieczeństwa oraz uwzględniają zmiany w technologii ich wykonania. Bardzo ważnym procesem projektowania foteli jest ich weryfikacja pod względem spełnienia wszystkich norm związanych z bezpiecznym ich użytkowaniem. Weryfikację taką przeprowadza się wykorzystując symulacje Metodą Elementów Skończonych. W szczególności przeprowadza się wirtualne testy zderzeniowe. Do tego celu niezbędne są dyskretne modele konstrukcji foteli zbudowane zgodnie z wiedzą inżynierską i dobrą praktyką wypracowaną przez firmę.

Wykonanie symulacji komputerowych oraz analiza wyników tych symulacji to proces składający się z trzech etapów: budowy modelu dyskretnego (tzw. *preprocessing*), obliczeń i analizy uzyskanych wyników (tzw. *postprocessing*). Budowa modelu dyskretnego spełniającego specjalistyczne wymagania jest bardzo pracochłonna i wymaga specjalistycznej wiedzy. Często inżynierowie wykonują mało efektywne prace związane z budową i modyfikacją modelu dyskretnego. Tego typu czynności są często źródłem błędów. Doktorant analizując sytuację związaną z budową modeli dyskretnych zaproponował opracowanie narzędzi automatyzujących powtarzalne i czasochłonne czynności.

Do budowy narzędzi automatyzujących wykonanie modeli dyskretnych oraz analizy wyników (opracowanie raportów) symulacji komputerowych Doktorant wybrał oprogramowanie firmy Altair. W sumie zbudował ponad 20 różnych narzędzi automatyzujących pracę inżynierów. Jako przykładowe zaprezentował narzędzia do: wspomagania modelowania połączeń śrubowych, narzędzie do wspomagania modelowania połączeń spawanych oraz narzędzia wspomagające analizę wyników i opracowywanie raportów z obliczeń. Autorskim pomysłem było podzielenie struktury tych narzędzi na dwie warstwy, jedną odpowiedzialną za *preprocessing* a drugą odpowiedzialną za *postprocessing*. Doktorant zaproponował i zaprezentował autorski sposób budowy tych narzędzi, ze szczególnym uwzględnieniem pozyskania i uporządkowania wiedzy, najlepszych praktyk i „know how” związanych z budowanymi narzędziami. Przedstawił także wszystkie informatyczne aspekty budowanych narzędzi.

Opracowane narzędzia automatyzujące pracę inżynierów pozwoliły zaoszczędzić czas, wyeliminować mało efektywne czynności i znacznie zmniejszyć ilość błędów popełnianych przez mało doświadczonych inżynierów budujących modele MES i analizujących wyniki obliczeń konstrukcji foteli samochodowych. Zwiększyła się efektywność i wydajność pracy inżynierów przy zachowaniu jakości ich pracy.

Drugą grupą zagadnień poruszanych w pracy doktorskiej jest zarządzanie szeroko pojętą wiedzą inżynierską związaną z projektowanymi fotelami samochodowymi. Celem Doktoranta było opracowanie koncepcji systemu do usprawnienia procesu pozyskiwania, przechowywania i używania wiedzy inżynierskiej wraz z śledzeniem zachodzących zmian. Doktorant założył, że modelowanie wiedzy będzie oparte na szablonach z możliwością stopniowej ewolucji modelowanej wiedzy. Pozwoli to śledzić zmiany jakie zaszły w modelu w czasie rozwoju produktu. Opracowana koncepcja modelowania wiedzy została przedstawiona na przykładzie reduktora zębatego i wału maszynowego. Niestety Doktorant nie przedstawił działającej aplikacji do zarządzania wiedzą, zagadnienie to zostało opracowane na etapie niezweryfikowanej koncepcji.

W ramach realizacji pracy doktorskiej Doktorant przeprowadził eksperyment, którego celem było określenie wpływu zbudowanych w firmie narzędzi na wydajność i jakość pracy inżynierów realizujących zadania z zakresu analiz MES. Na potrzeby tego eksperymentu zdefiniowano odpowiednie zadanie, które wymagało wykonania typowych czynności z zakresu budowy modeli dyskretnych. Zadaniem uczestników było dwukrotne wykonanie tych samych czynności, jednakże w pierwszym przypadku manualnie, bez pomocy specjalistycznych narzędzi a w drugim przypadku z wykorzystaniem opracowanych narzędzi. Oceniano czas i jakość wykonania zadania. Uczestnikami eksperymentu byli inżynierowie z różnym poziomem doświadczenia, umiejętnościami i znajomością wewnętrznych standardów. Pracownicy zostali podzieleni na trzy grupy: początkujący, średnio doświadczeni i bardzo doświadczeni. Wyniki eksperymentu wykazały, że zbudowane narzędzia mają bardzo znaczący wpływ na czas wykonania zadania we wszystkich badanych grupach uczestników. Dodatkowo wykazano, że narzędzia te wpływają na jakość budowanych modeli i ich zgodność z obowiązującymi standardami.

Doktorant zbadał również czy i w jakim stopniu wykorzystywane są opracowane narzędzia w codziennej praktyce inżynierskiej. Do tego celu, do każdego narzędzia dodano specjalny

moduł monitorujący wykorzystanie narzędzi. Mierzy ono użycie danego narzędzia oraz wykorzystywane przez pracowników funkcje. Na tej podstawie zostały opracowane statystyki użycia narzędzi. Wykazano, że opracowane narzędzia są wykorzystywane przez inżynierów i stanowią one istotny element w codziennej pracy.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Po lekturze pracy doktorskiej nasuwają się następujące uwagi mające charakter dyskusyjny:

1. Dlaczego nie zdefiniowano formalnego celu pracy?
2. Czy możliwe było opracowanie systemu ekspertowego opartego o reguły wnioskowania w kontekście zarządzania modelem wiedzy? Czy takie podejście w tym przypadku nie byłoby lepsze?
3. W rozdziale 5.5.3 pojawia się pojęcie systemu PLM jako systemu do zarządzania wszystkimi budowanymi modelami MES i wynikami analiz. Czy w tym wypadku nie należy mówić o systemie PDM (Product Data Management)?
4. Czy możliwe byłoby zbudowanie kompleksowego systemu informatycznego do zarządzania wiedzą inżynierską oraz do zarządzania narzędziami automatyzującymi pracę inżynierów w oparciu o system PLM?

Praca doktorska jest starannie przygotowana pod względem redakcyjnym. Zawiera jednak kilka drobnych błędów edytorskich (tak zwane literówki). W tabeli 5.1 zamieszczone rysunki są nieczytelne, również rysunek 5.15 jest nieczytelny. Błędy te nie umniejszają merytorycznej wartości pracy.

4. Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska zawiera wiele cennych osiągnięć, do których można zaliczyć:

- trafny dobór tematyki badań, która jest bezpośrednią realizacją zapotrzebowania przemysłowego,

- opracowanie zaawansowanych narzędzi KBE automatyzujących pracę inżynierów do budowy modeli dyskretnych siedzeń samochodowych i analizy wyników symulacji,
- implementację wiedzy inżynierskiej w narzędziach KBE,
- interdyscyplinarne i kompleksowe (umiejętności informatyczne i wiedza o budowie modeli MES) podejście do rozpatrywanego problemu,
- duży nakład pracy autora przy opracowaniu narzędzi,
- skuteczna aplikacja opracowanych narzędzi do praktyki przemysłowej komercyjnie działającego przedsiębiorstwa,

Doktorant wykazał się znajomością narzędzi informatycznych do automatyzacji pracy inżynierów, opanował zasady budowy modeli dyskretnych oraz zasady analizy wyników symulacji siedzeń samochodowych. Rozprawa doktorska zawiera wiele oryginalnych rozwiązań informatycznych związanych z budową narzędzi KBE. W zakresie prowadzonych badań Doktorant wykazał się dużym doświadczeniem i wiedzą.

Recenzowana dysertacja spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (BŁ.U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.).

Biorąc pod uwagę wskazane powyżej konkluzje, wnioskuję o dopuszczenie mgra inż. Łukasza Wóźnickiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Jacek Wóźnicki