

Szczecin 07.02.2021

Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

Recenzja pracy doktorskiej pt. "Metodyka oceny konstrukcji elementów maszyn z użyciem modeli neuronowych i antywzorców" autorstwa mgr inż. Andrzeja Tuchołka.

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Pani Rektor Politechniki Koszalińskiej dr hab. inż. Danuty Zawadzkiej prof. PK z dnia 13.11.2020.

1. Przedstawienie treści pracy

Przemysł maszynowy podlega szybkim przemianom można śmiało powiedzieć, że zmiany te mają charakter rewolucyjny, a analitycy nazwali ten proces czwartą rewolucją przemysłową „Przemysł 4.0”. Głównym wyznacznikiem tej rewolucji jest cyfryzacja procesów projektowych i produkcyjnych. W obszarze projektowania maszyn bardzo intensywnie rozwija się problematyka cyfrowego modelowania maszyn i ich komponentów, ich procesów roboczych oraz całych systemów produkcyjnych. Rozwój techniki komputerowej oraz postęp w zakresie algorytmów obliczeniowych i oprogramowania do badań symulacyjnych daje konstruktorom nowe możliwości budowy coraz bardziej zaawansowanych modeli symulacyjnych z dużą dokładnością odwzorowujących i analizujących własności modelowanych obiektów. Działania te zmierzają do budowy kompleksowych modeli obiektów mechanicznych, nie tylko dla potrzeb symulacji numerycznych ich własności statycznych czy dynamicznych (modele MES), ale również dla potrzeb obiektowego zapisu ich złożonej struktury i funkcjonalności. Działania te podejmowane są już na etapie projektowania a konstruowane cyfrowe modele konstrukcji mechanicznych nazywane są „Cyfrowymi bliźniakami” (Digital Twins). Rozwijane są modele opisu cech geometrycznych części maszyn dla potrzeb wizualizacji 3D w systemach CAD/CAM, które są rozbudowywane o dodatkowe informacje przenoszące dane materiałowe oraz więzy kinematyczne

między współpracującymi podzespołami. Silnie rozwijają się obiektowe systemy typu UML do opisu rzeczywistych procesów i złożonych fizycznych obiektów. Z drugiej strony obserwuje się wyraźny postęp w technikach cyfrowej symulacji z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Opracowanie nowych technologii *deep learning* i *cognitive computing* dały silne wsparcie analityce predyktywnej złożonych problemów fizycznych. Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w tę bardzo interesującą tematykę, niezmiernie ważną dla rozwoju technik projektowania i cyfrowej analizy maszyn i ich elementów oraz projektowania procesów technologicznych. Pan mgr inż. Andrzej Tuchołka podejmuje się realizacji badań nad problematyką nowych zorientowanych obiektowo metod opisu cech funkcjonalnych części maszyn i podzespołów. W recenzowanej pracy Autor zaproponował autorski, zorientowanego obiektowo język KXML do opisu cech funkcjonalności komponentów maszyn. Sformalizowany zapis modelu cyfrowego własności funkcjonalnych elementów konstrukcyjnych maszyn i ich wzajemnych relacji, rozbudowany o procedury tworzenia tzw. antywzorców, posłużył Autorowi do badań nad możliwością automatycznego wykrywania błędów konstrukcyjnych na etapie projektowania.

Opiniowana praca doktorska liczy 185 strony i składa się z siedmiu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisu: listingów, rysunków i tabel. Na końcu zamieszczono spis literatury zawierający zestaw 141 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest prawidłowy i nie budzi zastrzeżeń. Autor dogłębnie przeanalizował dostępne źródła i wyciągnął poprawne wnioski podsumowujące stan wiedzy. Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wprowadzenie, analizę literatury, cel i tezy pracy oraz pięć rozdziałów merytorycznych zakończonych wnioskami końcowymi i omówieniem perspektyw dalszych badań.

W pierwszym rozdziale rozprawy Autor definiuje problem a następnie po wnikliwej analizie stanu zagadnienia wykazuje potrzebę podjęcia badań nad problematyką oceny jakości konstrukcji mechanicznych. W rozdziale drugim Autor przedstawia cele i zakres pracy oraz formułuje trzy tezy badawcze. Pierwsza z nich dotyczy możliwości zastosowanie sieci neuronowych i antywzorców do oceny poprawności projektowanej konstrukcji. Druga teza dotyczy możliwości redukcji przestrzeni możliwych złych rozwiązań konstrukcyjnych poprzez zastosowanie antywzorców projektowych. Nasuwa się tutaj interesujące pytanie natury filozoficznej, czy można założyć, że całkowity zbiór nieprawidłowych rozwiązań konstrukcyjnych określonej klasy zespołu jest zbiorem ograniczonym, bowiem istnienie nieskończonej liczby błędnych wariantów rozwiązań

konstrukcyjnych może utrudnić udowodnienie prawdziwości tak postawionej tezy? Przy nieskończonej liczbie błędnych rozwiązań jakkolwiek skończoną ich część uporządkujemy i zredukujemy i tak będzie możliwe popelnienie nieskończonej liczby kolejnych błędów. Trzecia teza dotyczy opracowanego obiektowego języka zapisu cech konstrukcji i możliwości jego zastosowania do automatyzacji procesu projektowania. Przyjęty cel i zakres pracy oraz jej tezy (za wyjątkiem drugiej budzącej pewne obawy) nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanych problemów naukowych.

W rozdziale trzecim Autor podsumował prowadzone analizy teoretyczne i zdefiniował koncepcję antywzorca oraz model klasyfikacyjny dla obiektów obiektów elementarnych konstrukcji. Ponadto wskazano istotne cechy istniejących symbolicznych formatów zapisów.

W rozdziale czwartym Autor opisał opracowaną metodę identyfikacji antywzorców oraz zaprezentował oryginalny zbiór antywzorców konstrukcji mechanicznych zawierający 17 antywzorców. Poszczególne antywzorcy zostały opisane słownie, przy pomocy rysunków technicznych oraz zapisu symbolicznego.

W kolejnym, piątym rozdziale opisana została opracowana przez Autora, oryginalna metoda symbolicznego zapisu cech konstrukcji KXML. Podana została składnia języka oraz sposób przetwarzania danych zapisanych w tym formacie.

Rozdział szósty zawiera opis opracowanej, autorskiej metody oceny konstrukcji elementów maszyn ze szczególnym uwzględnieniem sposobu normalizacji cech i ich struktury.

W kolejnym rozdziale siódmym przedstawiono dyskusję kluczowych czynników numerycznej analizy cech konstrukcji mechanicznej z użyciem wytypowanych modeli numerycznych. Rozprawę zakończono podsumowaniem, w którym Autor wyciągnął wnioski z przeprowadzonych badań i ocenił poziom weryfikacji postawionych w pracy tez. Ponadto wskazano ograniczenia opracowanej metody oraz możliwość transferu i utrwalenia wiedzy konstruktorskiej poprzez zastosowanie KXML do tworzenia biblioteki antywzorców.

Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników badań numerycznych Autor rozwiązał postawiony problem naukowy i udowodnił tezy badawcze.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Bardzo dużym atutem pracy doktorskiej Pana Andrzeja Tuchołka jest innowacyjny, w skali światowej, charakter proponowanych rozwiązań. Autor posiada niezwykle dużą biegłość w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami w zakresie komputerowego modelowania i symulacji cyfrowych złożonych problemów technicznych. Autor posiada rozległą wiedzę z zakresu teorii informacji oraz teorii budowy systemów informatycznych i języków obiektowych. Recenzowana praca doktorska ma silny pierwiastek informatyczny zaadoptowany na grunt inżynierii mechanicznej. Autor ma świadomość zachodzących przemian w obszarze inżynierii mechanicznej (rozwój mechatronicznego podejścia w projektowaniu i eksploatacji maszyn) sprawiających, że komponent informatyczny zaczyna odgrywać coraz ważniejszą rolę w budowie, eksploatacji i projektowaniu maszyn. Staje się on bowiem warstwą pośrednią (interfejsem) pomiędzy operatorem a maszyną czy projektantem a procesem twórczej kreacji nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Wyniki pracy badawczej Pana Andrzeja Tuchołka dostarczają narzędzi wspomagających te przemiany. Należy również zaznaczyć, że Autor w celu walidacji proponowanych rozwiązań oraz modeli obiektowego opisu elementów maszyn przeprowadził szereg badań symulacyjnych wykazując przy tym wysokie umiejętności planowania badań symulacyjnych. Zrealizowane eksperymenty numeryczne potwierdził poprawność działania opracowanych algorytmów i modeli zapisu właściwości elementów konstrukcji mechanicznych. Zaplanowane zadania Autor zrealizował konsekwentnie a uzyskane rezultaty poddał stosownej analizie.

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

1. Opracowanie obiektowego systemu opisu cech elementów konstrukcji mechanicznych w formie języka notacji danych KXML.
2. Zaproponowanie techniki antywzorców do oceny poprawności konstrukcji na etapie projektowania.
3. Opracowanie pierwszej bazy antywzorców dla wybranej klasy konstrukcji mechanicznych typu korpus.
4. Opracowanie metod analizy poprawności konstrukcji mechanicznej z zastosowaniem antywzorców za pomocą sztucznych sieci neuronowych.
5. Wyniki badań numerycznych skuteczności zaproponowanych algorytmów.

Bardzo wysoko oceniam oryginalność, innowacyjność (na światowym poziomie) i poziom naukowy wymienionych osiągnięć.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Prezentowana wcześniej w recenzji uwaga na temat drugiej tezy rozprawy. Interesujący jest pogląd Autora w tej sprawie.
2. Autor zaproponował nazwę języka obiektowego opisu cech konstrukcji mechanicznych KXML jednak nigdzie nie wyjaśnił znaczenia tego skrótu. Samo XML tłumaczy się jako eXtensible Markup Language. Istnieją inne tego typu języki opisu danych jak VRML (Virtual Reality Markup Language), czy powszechnie znany HTML (HiperText Markup Language). Czy zaproponowany skrót ma jakieś znaczenie?
3. W rozdziale 4.2.8 Autor zaproponował jako antywzorzec korpus bez uźebrowania pod oprawą łożyska. Czy taki antywzorzec jest uniwersalny? Można bowiem wyobrazić sobie taką konstrukcję korpusu, gdzie ścianki będą na tyle grube, iż mocowanie łożyska będzie miało wystarczającą sztywność. Zatem obligatoryjne wstawianie żebra pod oprawę łożyska może okazać się niezasadne – szczególnie, że takie rozwiązanie komplikuje model odlewniczy. Czy taki antywzorzec nie powinien być warunkowy, doprecyzowany przez jakieś szacunkowe obliczenia (można przecież wzory zapisywać w KXMLu)?
4. Na str. 106 Autor arbitralnie stwierdza, że „... obecnie stosowne formy symbolicznej reprezentacji konstrukcji nie definiują struktury i wzajemnego wpływu kluczowych cech konstrukcyjnych...”, nie do końca zgadzam się z takim stwierdzeniem. Format VRML obecnie zastępowany formatem X3D, oprócz geometrii przenosi też wiele informacji opisujących cechy konstrukcji takie jak: masa, tensor momentów bezwładności, położenie środka ciężkości, więzy kinematyczne pomiędzy poszczególnymi częściami. Przykładem zastosowania tego typu transferu danych jest współpraca programu CAD SolidWorks z modułem SimScape Multibody systemu Matlab. Matlab pobiera te dane za pomocą wspomnianych formatów bezpośrednio z SolidWorksa i buduje model symulacyjny oraz wizualizację. Oczywiście, że z punktu widzenia postawionego w rozprawie celu pracy te dodatkowe dane mogą być niewystarczające, ale standard X3D ciągle się rozwija i zaimplementowany w nim model danych geometrycznych dla części CAD może się nadawać w przyszłości do automatycznej dekompozycji.
5. W listingu 5.3 oraz w opisie poniżej listingu na stronach 112 i 113 użyto w opisie dekompozycji wału węzła klasy „frez”. Z parametrów tego węzła domyślam się, że

prawdopodobnie chodzi o fazę o wymiarze 12 mm i kącie 45°. Dlaczego użyto wprowadzającej czytelnika w błąd nazwy „frez”?

6. Na str. 133 Autor przedstawił koncepcję użycia system zapisu symbolicznego. Moim zdaniem newralgicznym punktem tej koncepcji jest konieczność manualnej dekompozycji. Obecnie projekt koncepcyjny często realizuje się tworząc uproszczone rysunki bezpośrednio w jakimś systemie CAD. Konieczność manualnego dekomponowania i wprowadzania danych w module zapisu symbolicznego, po każdorazowym wprowadzeniu jakiś zmian w koncepcji, znacznie obniży efektywność procesu projektowania. Należy w przyszłości podjąć intensywne prace nad automatyzacją dekompozycji na podstawie modeli geometrycznych stosowanych w systemach CAD. Ponadto powiązanie modelu lingwistycznego z modelem geometrycznym daje duży potencjał rozwoju interfejsu komunikacyjnego dla systemu oceny konstrukcji.
7. Str. 40, z treści rozdz. 3.1.1 wynika, że w przestrzeni możliwych rozwiązań mamy do czynienia z: rozwiązaniami dobrymi, antywzorcami (pozornie dobre ale złe) i rozwiązaniami złe. Czy taka definicja nie jest zbyt rozmyta (nieostra) i nie prowadzi do trudności z identyfikacją antywzorca. Kiedy rozwiązanie złe może jeszcze być antywzorcem, a kiedy jest zbyt złe żeby nim zostać?

Tekst pracy został napisany bardzo starannie, część edytorska pracy jest na najwyższym poziomie i zasługuje na bardzo wysoką ocenę. W trakcie czytania pracy wykryłem pewne drobne błędy redakcyjne:

- Str. xii, II akapit, 4 wiersz – dwa razy „na”.
- Str. xii, 6 wiersz od dołu, jest „ze” winno być „z”.
- Str.5, rozdz.1.1, I akapit, 2 zdanie – nadużyto słowa „możliwości”. „...możliwości.... umożliwił możliwości....”.
- Str.6, II akapit, 4 wiersz, - niezrozumiałe zdanie „... przestrzeni informacyjnej, raczej niż fizycznej ...”.
- Str.7, II akapit, 3 wiersz – „oraz” niepotrzebne.
- Str.10, rozdz.1.3 I akapit, 1 zdanie – niepoprawne zdanie.
- Str.22, ostatnie zdanie, - jest „z wskazanych”, winno być „ze wskazanych”.
- Str.23, II akapit, 1 zdanie – brakuje „o”.
- Str.23, II akapit, 2 zdanie – zła odmiana.
- Str.31, przedostatni akapit, ostatnie zdanie – jest „Obie nich...”. Winno być „Obie z nich...” lub „Obie ...”.

- Str.43, rozdz.3.1.3, I akapit, ostatnie zdanie – brakuje „na”.
- Str.46, rys.3.13, - przekrój A-A jest nieprawidłowy.
- Str.58, rozdz.3.3, I akapit, 2 zdanie, jest „W kich...”, winno być „W ich ...”.
- Str.72, 6 podpunkt, - tekst w nawiasie niezrozumiały, analogicznie na str.:75,77,79,81,83,85,87,88,91,93,95,97,99,101 i 103.
- Str.75, listing 4.2 – niewłaściwe jednostki(cm->mm).
- Str.82, I akapit, ostatnie zdanie podano (0.12 mm), na rys.4.9. jest 0.8 mm, a na listingu 4.6 ponownie jest 0,12 mm. Tylko dane z rys.4.9 korespondują z opisem, w którym podano, że odchyłka jest cztery razy większa.
- Str.110, rozdz.5.1, II akapit, 1 zdanie, jest „zastawienie”, winno być „zestawienie”.
- Str.110, rozdz.5.1, III akapit, 1 zdanie, - niezrozumiałe zdanie „... raczej niż być przechowywanym zewnątrz”.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. (z późniejszymi zmianami) oraz Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. (z późniejszymi zmianami). Zrealizowana przez mgr. inż. Andrzeja Tuchołka praca charakteryzuje się bardzo wysokim poziomem innowacyjności. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz wskazuje na duży poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

Z uwagi na bardzo wysoki poziom naukowy pracy, na publicznej obronie będę wnioskował o jej wyróżnienie.