

Kraków, 14.04.2017

Dr hab. inż. Krzysztof Karbowski, prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Katedra Inżynierii Procesów Produkcyjnych

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Turka, na temat.:

„Metodyka projektowania i wytwarzania modeli medycznych żuchwy”

Promotor rozprawy doktorskiej: prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik,

Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej: dr inż. Tomasz Dziubek.

Podstawa opracowania: zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki

Rzeszowskiej nr RM-530-04-03-2016 z dnia 9.03.2017 r.

1. TREŚĆ ROZPRAWY

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska zawiera 169 stron wraz ze spisem treści, wykazem ważniejszych oznaczeń oraz wykazem bibliografii (204 pozycje literatury w większości w języku angielskim, w tym 14 stron internetowych) i streszczeniami w językach angielskim i polskim.

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów, z których pierwszy zawiera wprowadzenie, a dwa ostatnie podsumowanie i wnioski końcowe.

W rozdziale 1 „Wprowadzenie” Autor omawia podstawowe pojęcia z zakresu modelowania komputerowego oraz inżynierii rekonstrukcyjnej – którą na str. 8 nazywa inżynierią odwrotną.

Str. 7, wiersz 7 – jest „rozwojowy” – powinno być „rozwojowi”.

Str. 7, wiersze 6 i 5 od dołu – jest: „rozwiązanie tego problemu stało się to ...” – niespójne gramatycznie.

W pracy występuje wiele błędów gramatycznych i interpunkcyjnych.

Na stronie 10 Autor stwierdza, że „[...] metody RP stanowią idealną alternatywę dla wytwarzania [...]”. W rozprawie doktorskiej w dziedzinie nauk technicznych nie ma miejsca na tego typu stwierdzenia.

Str. 11, wiersz 15 od dołu – jest „anatomiczny” – powinno być „anatomicznym”.

Str. 12, wiersz 6 od góry – jest „Poddawane są one także ocenie właściwości mechaniczne” - ???.

W **podrozdziale 1.1.2** Autor opisuje anatomie żuchwy – brakuje rysunku mięśni głowy, który w znaczący sposób poprawiłby czytelność opisu. Podobna uwaga dotyczy opisu implantów żuchwy.

Str. 14, wiersz 13 od góry – jest „Wykonywanie” – powinno być „Wykonywane”.

Ostatnie zdanie na stronie 15 jest niezrozumiałe w kontekście treści akapitu.

W **podrozdziale 1.2. Teza, cel i zakres pracy** Autor sformułował tezę o następującej treści:

„Istnieją zależności pomiędzy metodami digitalizacji, obróbką danych numerycznych oraz procesem wytwarzania, które można zweryfikować przy użyciu współrzędnościowych systemów pomiarowych w celu podwyższenia dokładności wykonania modeli medycznych żuchwy. Określenie tych zależności pozwala na opracowanie metodyki projektowania oraz wytwarzania modeli medycznych o możliwej do uzyskania dokładności wyrobu, wyższej niż rozdzielczość standardowa dla poszczególnych etapów rekonstrukcji numerycznej i fizycznej”.

Co to jest „rozdzielczość standardowa”?

W tezie jest mowa o „dokładności wyrobu, wyższej niż rozdzielczość” – jaki jest związek pomiędzy rozdzielczością przyrządu lub metody pomiarowej i dokładnością wyrobu?

Na kolejnej stronie Autor pisze, że założona do badań dokładność na etapie projektowania modelu żuchwy powinna mieścić się w tolerancji $\pm 0,3$ mm, a na etapie wykonania modelu $\pm 0,2$ mm – do tych założeń odniosę się w dalszej części recenzji.

W dalszej części podrozdziału 1.2 Doktorant przedstawił cel i zakres pracy.

Cele pracy uważam za sformułowane prawidłowo.

Str. 17, wiersz 4 od dołu – jest „miary” – powinno być „miar”.

Uznając trafność podjętej przez Doktoranta tematyki badawczej stwierdzam, iż zaproponowany temat rozprawy doktorskiej jest ważny dla rozwoju dyscypliny naukowej budowa i eksploatacja maszyn, a w szczególności metod wykonywania modeli medycznych.

W **rozdziale 2 Metody rekonstrukcji i projektowania modeli medycznych z zastosowaniem systemów RE** Autor omawia metody inżynierii rekonstrukcyjnej, w szczególności tomografię komputerową oraz optyczne i stykowe systemy pomiarowe. Autor wielokrotnie posługuje się terminem „obrazy tomograficzne”. Sugeruje to, iż są to obrazy podobne do uzyskiwanych podczas klasycznego badania Rtg. Radiolodzy w takiej sytuacji mówią o obrazach uzyskanych metodami tomografii komputerowej, gdyż obraz tego typu to

jedynie przybliżona wizualizacja funkcji pochłaniania promieniowania X w wybranym przekroju.

Str. 20, wiersz 8 od dołu oraz str. 23 wiersz 3 od dołu – jest „uzyskany” – powinno być „uzyskanych”.

W **podrozdziale 2.1.2** Doktorant przedstawia metody tomografii komputerowej. Opis jest chaotyczny. Specjalista z zakresu TK odnajdzie wiele nieścisłości, natomiast dla osoby nie mającej bliższego kontaktu z tomografią komputerową opis ten jest zbyt pobieżny dla zrozumienia zasad pracy tomografu.

Str. 26, wiersz 16 od dołu – jest „odszukania” – powinno być „odszukaniu”.

Str. 27, wiersz 9 od dołu – jest „on” – powinno być „ona”.

Str. 29, wiersz 5 od góry – jest „anatomiczne” – powinno być „anatomicznej”.

Str. 29, wiersz 3 od dołu – jest „wyznaczona” – powinno być „wyznaczoną”.

Na stronach 30 i 31 Autor opisuje metody segmentacji danych oraz modelowania komputerowego. Opis ten jest enigmatyczny.

Str. 31, wiersz 1 od dołu – jest „MPI” – powinno być „MIP”

Na stronie 32 znajduje się opis błędów w strukturze plików STL – brakuje najczęściej występującego błędu: niewłaściwej orientacji wektorów normalnych.

Str. 32, wiersz 4 od dołu – jest „używany” – powinno być „używana”.

Na stronie 33 w opisie programu 3D Doctor Autor napisał, że „[...] pozwala na przeprowadzenie dokładnych pomiarów” – to znaczy jakich?

Str. 34, wiersz 7 od góry – jest „który” – powinno być „która”.

Str. 35, wiersz 3 od góry – jest „geometrię” – powinno być „geometria”.

Str. 35, wiersz 8 od góry – jest „Kaźde” – powinno być „Kaźdy”.

Opis współrzędnościowych metod pomiarowych, przedstawiony na stronie 36, dotyczy metod kontroli wyrobów – metrologia współrzędnościowa w inżynierii rekonstrukcyjnej to pomiary powierzchni swobodnych, podczas których stosuje się odmienne głowice oraz programy pomiarowe.

Str. 36, wiersz 2 od dołu – jest „elementu” – powinno być „element”.

Strona 42, wiersz 5 od góry: „[...] można sprawnie i dokładnie odwzorowywać obiekty” – to znaczy jak?

Rozdział 3 Metody wytwarzania modeli medycznych zawiera opis:

- technologii przyrostowych: FDM/MEM/FFF, PolyJet, CJP, SLS,
- technologii ubytkowych, w szczególności RT i RM.

Str. 44, wiersz 6 od góry – jest „nieodzownym” – powinno być „nieodzownymi”.

Str. 47, wiersz 10 od dołu – jest „zmian” – powinno być „zmiany”.

Str. 52, wiersz 12 od góry – jest „fosforami” – powinno być „fosforanami”.

Strona 55, rysunek 3.11. Rodzaje metod skrawania – obróbki erozyjna oraz skoncentrowaną wiązką energii nie są zaliczane do metod skrawania.

Str. 57, wiersz 6 od dołu – jest „całego” – powinno być „całej”.

Rozdział 4 Wykonanie modelu wzorcowego oraz anatomicznych modeli odcinków żuchwy. Autor zaprojektował i wykonał model wzorcowy (fantom) żuchwy, który w dalszej pracy użył do oceny dokładności analizowanych metod.

Model pokazany na rysunku 4.1 uważam za ważne dokonanie Autora, jakkolwiek uważam, iż materiał modelu (stop aluminium) został dobrany niewłaściwie, czego efektem były późniejsze problemy z przeprowadzeniem pomiarów modelu na tomografie medycznym.

Na stronie 62 Autor pisze, że „zastosowany materiał ze względu na jego gęstość, pozwala na przeprowadzenie pomiarów modelu z zastosowaniem tomografów komputerowych przeznaczonych do diagnostyki medycznej”. W tym miejscu odsyłam do podsumowania na stronie 145, gdzie Autor stwierdza, że nie uzyskano zgody na przeprowadzenie takich pomiarów. co przeczy wcześniejszemu stwierdzeniu.

W **podrozdziale 4.2** Doktorant opisał procedurę rekonstrukcji geometrii żuchwy na podstawie wyników tomografii komputerowej udostępnionych przez Kliniczny Szpital Wojewódzki nr 1 w Rzeszowie.

Na stronie 70 Autor pisze, że „Często w procesie projektowania oraz wytwarzania, potrzebna jest większa dokładność modelu. Dlatego też konieczna jest konwersja siatki trójkątów na powierzchnie swobodne”. Należy w tym miejscu zadać pytanie, czy na pewno transformacja powierzchni fasetkowych na powierzchnie parametryczne zwiększa dokładność, biorąc pod uwagę, iż transformacja ta jest aproksymacją – to tego problemu wrócę w dalszej części recenzji, odnosząc się do prac Autora w zakresie oceny dokładności modelowania.

W ostatnim akapicie na stronie 70 znalazło się stwierdzenie, iż powierzchnie parametryczne mogą posłużyć do przygotowania technologii dla OSN – można to również wykonać dla powierzchni fasetkowych (patrz: Catia –Advanced Machining).

Rozdziały 5 i 6 zawierają analizę dokładności odwzorowania, modelowania i wykonania modeli żuchwy, pokazaną za pomocą czytelnych map błędów.

Analizę dokładności metod pomiaru, modelowania i wytwarzania uważam za najważniejsze dokonanie Autora.

W **podrozdziale 5.2** Doktorant ocenił dokładność odwzorowania modeli medycznych żuchwy, wykonanych na podstawie wyników TK, za pomocą różnych metod pomiarowych. Zastanawia mnie jakie jest praktyczne znaczenie tej analizy, którą można by odnieść jedynie do sytuacji rekonstrukcji wypreparowanych kości w badaniach post mortem?

W **podrozdziale 5.3** Autor ocenił dokładność transformacji powierzchni fasetkowych na powierzchnie parametryczne (o czym już wspominałem). Na podstawie tej analizy widać, iż transformacja zwiększa błędy modelowania, co przeczy stwierdzeniu Autora, zawartemu na stronie 70.

Na stronach 111 i 112 Doktorant pisze, iż modele żuchwy opisane powierzchniami parametrycznymi są wykorzystywane do projektowania implantów – w wymienionym w pracy programie Mimics implanty projektuje się w oparciu o modele fasetkowe.

Str. 114, wiersz 4 od góry – jest „grubości” – powinno być „grubość”.

Str. 115, wiersz 9 od góry – jest „zostały” – powinno być „został”.

Str. 118, wiersz 8 od góry – jest „modeli” – powinno być „model”.

Str. 118, wiersz 14 od góry – jest „uzyskana” – powinno być „uzyskane”.

W **rozdziale 6** opis oceny dokładności wykonania modeli anatomicznych żuchwy sugeruje, iż jest to ocena dokładności odwzorowania żuchwy żyjącego pacjenta – ale Autor nie badał takiego przypadku, gdyż podstawą odwzorowania był model wykonany na podstawie wyników TK, których dokładność nie jest Autorowi znana (Autor podaje jedynie rozdzielczość zrekonstruowanego woksela).

W rozdziałach 7 i 8 Autor przedstawia podsumowanie i wnioski końcowe.

2. OCENA PRACY

— Tytuł rozprawy jest następujący: „Metodyka projektowania oraz wytwarzania modeli medycznych żuchwy”. Oczekiwałem, że wnioski końcowe będą zawierały algorytm

pomiaru, modelowania i wykonywania modeli żuchwy, będący przewodnikiem dla projektanta – rozprawa doktorska nie zawiera opisu metodyki projektowania i wytwarzania modeli medycznych żuchwy.

- Autor postawił tezę – ale później o niej zapomniał. Jeśli w rozprawie postawiono tezę pracy (co nie było konieczne), to w dalszej jej części powinien znaleźć się dowód.
 - Model (fantom) żuchwy to ciekawe dokonanie Autora – niestety tak skonstruowany model nie ma praktycznego zastosowania do oceny dokładności medycznych tomografów komputerowych, gdyż został wykonany z metalu (co skutkowało brakiem zgody szpitala na wykonanie obrazowania TK) oraz nie uwzględniał błędu tak zwanej podwójnej objętości, czyli nie symulował obecności tkanek miękkich (model – wzorem fantomów TK – powinien zostać zanurzony w wodzie destylowanej).
 - Obrazowanie TK zostało wykonane w rozdzielczości 0,4 mm x 0,4 mm x 1,5 mm. Autor nie odpowiedział jaka jest dokładność obrazowania oraz założył dokładność modelowania w tolerancjach węższych niż wspomniana rozdzielczość – uważam, iż jest to nieuprawnione działanie.
 - Tytuł rozprawy sugeruje, że ocenie dokładności poddano proces rekonstrukcji żuchwy żyjącego pacjenta – brak oceny dokładności medycznego tomografu komputerowego w znaczny sposób ogranicza praktyczne wyniki pracy.
-
- + Autor zaproponował model wzorcowy (fantom) żuchwy, który po modyfikacjach (inny materiał, zanurzenie w wodzie destylowanej) może zostać użyty do oceny dokładności rekonstrukcji żuchwy.
 - + Autor przeprowadził i zaprezentował wyniki wnikliwej oceny dokładności metod odwzorowania, modelowania i wykonania modeli medycznych żuchwy.

W mojej ocenie dokonania Autora, przedstawione w opiniowanej pracy, stanowią istotny wkład w rozwój metod rekonstrukcji obiektów medycznych.

3. PODSUMOWANIE

Podsumowując całość rozprawy stwierdzam, iż zadanie badawcze, podjęte przez Doktoranta, jest ważne dla rozwoju dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn.

Doktorant przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazał, iż posiada wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Turka na temat „Metodyka projektowania oraz wytwarzania modeli medycznych żuchwy” spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz.595, z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Kraków, dnia 14 kwietnia 2017 r.



