

dr hab. Michał Wychowański
Zakład Biomechaniki
Wydział Rehabilitacji
AWF Warszawa

Recenzja

Rozprawy doktorskiej zatytułowanej: „MODELOWANIE NUMERYCZNE WYPADKÓW PRZY PRACY SPOWODOWANYCH UPADKAMI”

Autor: mgr inż. Marcin Milanowicz

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Kędzior

Ocena strony formalnej:

Recenzowana praca, jest zgodna co do jej formy, z wymogami stawianymi rozprawie doktorskiej. Praca jest przygotowana w formie wydruku opracowanego za pomocą komputerowego edytora tekstu. Rysunki i tabele są wstawione w odpowiednich miejscach tekstu w formie cyfrowej. Całkowita objętość tekstu rozprawy wynosi 142 strony. Pracę zrealizowano na podstawie wyników badań uzyskanych w trakcie wykonywania projektu V.B.12. zatytułowanego: „Komputerowe modele kończyny górnej z możliwością symulowania złamań oraz głowy z przemysłowym hełmem ochronnym dla potrzeb rekonstrukcji i zapobiegania wypadkom przy pracy” i zadania badawczego III-43: „Badanie reakcji człowieka w momencie utraty równowagi z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej”.

Zamieszczone w pracy treści rozdzielone są zgodnie z merytorycznym podziałem na 8 rozdziałów i 5 załączników. Zawartość wszystkich rozdziałów dokładnie odpowiada tematowi rozprawy zamieszczonemu w tytule. Układ pracy jest typowy dla dysertacji. Wszystkie rozdziały są prawidłowo zatytułowane, ich treść odpowiednio dokumentuje przebieg realizacji celu pracy. Praca jest bardzo dobrze zredagowana pod względem językowym i graficznym.

Rozdział 1 „Wstęp” dotyczy genezy pracy. Główną przesłanką podjęcia pracy był problem wypadków zachodzących corocznie w miejscu pracy, około 90 tysięcy rocznie, co generuje wydatki roczne w wysokości około 3 mld zł. Aby skutecznie zapobiegać wypadkom w pracy trzeba dokładnie rozpoznać ich przyczyny i skutki. Budowa odpowiednich modeli matematycznych (numerycznych) ciała człowieka może być bardzo dużym udogodnieniem w przeprowadzeniu symulacji komputerowej wypadków. Liczną grupą wypadków w pracy, często ze śmiertelnymi konsekwencjami, są upadki z wysokości. Ze wstępu jednoznacznie wynika uzasadnienie podjęcia badań nad problematyką upadków z wysokości w miejscu pracy. W rozdziale 2 dokonano przeglądu piśmiennictwa dotyczącego tematyki rozprawy. Wiedza uzyskana podczas przeglądu literatury została wykorzystana do realizacji głównego celu pracy postawionego w 3 rozdziale „Teza, cel program badań.” Rozdział 4 obrazuje kolejne etapy budowy numerycznego modelu z wykorzystaniem znanych modeli oraz oryginalnych własnych opracowań. W rozdziale 5 opisano eksperymenty laboratoryjne zmierzające do zidentyfikowania reakcji człowieka, pracującego w wirtualnej przestrzeni na dużej wysokości, przeprowadzone według własnego oryginalnego protokołu.

Rozdział 6 zawiera opis symulacji komputerowych upadków z dużej wysokości, weryfikację modelu w postaci rekonstrukcji rzeczywistego wypadku, dyskusję wyników i ich porównanie z doniesieniami literaturowymi. W rozdziale 7 sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań, plany kontynuacji problematyki modelowania upadków. Pracę kończy spis piśmiennictwa wykorzystanego w pracy i załączniki.

Układ pracy jest prawidłowy, logiczna jest kolejność rozdziałów i podział treści w nich zawarty.

Praca wyróżnia się starannością przygotowania oraz obszernym i bardzo dobrze przedstawionym w tekście przeglądem piśmiennictwa. Wydaje się, że dla ułatwienia studiowania rozprawy warto ją uzupełnić o streszczenie i spis stosowanych w pracy oznaczeń.

Ocena merytoryczna rozprawy:

Upadki z wysokości są ważnym problemem społecznym. Poza cierpieniem i często utratą życia powodują istotne koszty leczenia i ubezpieczeń za niezdolność do pracy. Z poznawczego punktu widzenia wiele zagadnień związanych z przyczynami i skutkami upadków z dużej wysokości nie jest dostatecznie dobrze zidentyfikowanych co często przysparza wielu problemów natury prawnej w kryminalistyce i odszkodowaniach. Brak dostatecznej wiedzy na temat upadków z wysokości ma także istotne znaczenie w profilaktyce wypadków, projektowaniu ubrań ochronnych, organizacji i bezpieczeństwie pracy. Współcześnie powszechną metodą badawczą są eksperymenty komputerowe polegające na symulacji komputerowej badanych zjawisk. Jest oczywiste, że jeżeli chodzi o upadki z wysokości modelowanie matematyczne jest bardzo przydatne do uzyskania nowej wiedzy ze względu na bezpieczeństwo eksperymentatorów. Obecnie znanych jest wiele programów do badania skutków wypadków przede wszystkim komunikacyjnych. Mając to na względzie Autor niniejszej dysertacji sformułował lapidarny cel pracy: „Opracowanie numerycznego modelu ciała człowieka przydatnego do rekonstrukcji wypadków związanych z upadkiem z wysokości”. Postawiony cel doktorant zrealizował dostosowując znany program PEDESTRIAN do analizy upadków z wysokości. Autor przeprowadził identyfikację warunków początkowych fazy lotu po niespodziewanej utracie równowagi, podczas eksperymentów laboratoryjnych, z wykorzystaniem pozorantów. Opracowanie metody bezpiecznego eksperymentu z wykorzystaniem wirtualnej przestrzeni symulującej pracę na wysokości do pomiaru parametrów początkowej fazy lotu podczas upadku uważam za oryginalne i znaczące osiągnięcie doktoranta. Opracowany i zweryfikowany model matematyczny ciała człowieka, przydatny do przewidywania skutków i rekonstrukcji upadków z wysokości jest bardzo istotnym osiągnięciem doktoranta w świetle przytoczonego piśmiennictwa. Wykorzystanie wyników eksperymentów laboratoryjnych na ludziach i wyników symulacji komputerowych opracowanego modelu numerycznego istotnie poszerzyło stan wiedzy na temat upadków z wysokości. Opracowany model matematyczny ciała człowieka jest narzędziem, które na pewno będzie źródłem nowej wiedzy na temat upadków z wysokości, ale także znajdzie szerokie zastosowanie w kryminalistyce, ergonomii, prawie pracy, przyznawaniu odszkodowań.

Główny cel pracy jest dobrze sformułowany, ma istotne walory poznawcze i praktyczne. Cel główny i cele szczegółowe: opracowanie modelu kończyny górnej, opracowanie modelu numerycznego głowy z przemysłowym hełmem ochronnym i identyfikacja warunków początkowych fazy lotu podczas upadku z wysokości mają bardzo istotne znaczenie praktyczne dla wszystkich tych, którzy zajmują się zagadnieniami upadków w miejscu pracy.

Autor poczynił jednoznaczne założenia, które pozwoliły przeprowadzić badania niebezpiecznego działania ruchowego człowieka z zachowaniem zasad bezpieczeństwa i zgodnie z zasadami prowadzenia eksperymentu naukowego.

W badaniach posługiwano się znanym, nowoczesnym systemem MADYMO do symulacji dynamiki ruchu człowieka, podczas różnego rodzaju zderzeń. Systemem do analizy ruchu 3D firmy VICON. Do symulacji warunków pracy na wysokości zastosowano urządzenie HMD (*head mounted display*). Do inicjacji utraty równowagi zastosowano zapadnię własnej konstrukcji. Wszystkie urządzenia badawcze zastosowane w pracy są powszechnie znanymi i wykorzystywanymi w biomechanice urządzeniami pomiarowymi, których charakterystyki metrologiczne i metodyka prowadzenia badań są dobrze znane. Wybór metod pomiarowych, a przede wszystkim opracowanie metody eksperymentalnego badania warunków początkowych upadku z wysokości z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości jest oryginalnym osiągnięciem Autora. Zastosowane metody eksperymentalne nie odbiegają od poziomu najlepszych laboratoriów w zaawansowanych technologicznie krajach na świecie.

W badaniach uczestniczyło 30 mężczyzn w wieku 23 ± 2 lata. Liczebność grupy była wystarczająca do poszukiwania zależności pomiędzy badanymi parametrami opisującymi dynamikę wczesnej fazy upadku z wysokości. Prawidłowo dobrano grupę badanych ze względu na wiek, ponieważ upadkom z wysokości najczęściej ulegają ludzie młodzi, niedoświadczeni. Sposób włączenia badanych do grup nie budzi zastrzeżeń i było zgodne z decyzją Komisji Etycznej AWF Warszawa.

Do symulacji komputerowej biomechaniki upadków wykorzystano pakiet oprogramowania MADYMO model PEDESTRIAN. Macierz korelacji Pearsona uzyskano za pomocą odpowiedniej procedury programu STATISTICA v.10. Pakiet MADYMO jest najbardziej zaawansowanym technologicznie pakietem stosowanym powszechnie do badania biomechaniki zderzeń, przede wszystkim w wypadkach komunikacyjnych. Program STATISTICA jest popularnym nowoczesnym programem do statystycznego opracowywania wyników badań.

Wszystkie tematy omawiane w Rozdziale 2 „Przegląd stanu badań z zakresu tematyki rozprawy” są bardzo dobrze udokumentowane w przytaczanej literaturze polskiej i anglojęzycznej. Doktorant dokonał obszernego wprowadzenia do problemu badawczego dotyczącego zderzeń człowieka podczas wypadków komunikacyjnych koncentrując się na zagadnieniach metod modelowania matematycznego i pomiaru parametrów zderzenia podczas eksperymentów laboratoryjnych.

Rozdział 6.3.6 „Dyskusja wyników rekonstrukcji” zajmuje 4 strony i ma zdecydowanie charakter opisu wyników rekonstrukcji a nie dyskusji rozumianej jako krytyczna ocena własnych metod badawczych i porównania własnych wyników badań z wynikami innych autorów. Dyskusja zastosowanych metod badawczych została przeprowadzona w Rozdziale 2. Jest ona na dobrym poziomie naukowym z wykorzystaniem licznych odniesień do literatury polskiej i obcej. Przeprowadzona dyskusja jest napisana merytorycznie. W pracy wykorzystano 88 pozycji piśmiennictwa w tym 57 artykułów naukowych w języku angielskim z renomowanych czasopism oraz materiały o charakterze dokumentacji technicznej, podręczniki, raporty z badań i strony internetowe. Wszystkie artykuły są dobrze dobrane i merytorycznie związane z tematem pracy.

W rozdziale 7 „Podsumowanie i perspektywy dalszych badań” sformułowano uwagi z których można wyeksponować następujące wnioski: i) Opracowano model numeryczny uwzględniający warunki początkowe lotu podczas upadku z wysokości o większej dokładności i krótszym czasie obliczeń. ii) Opracowano nową metodę badania upadków z wysokości z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości. iii) Opracowano metodę inicjacji utraty równowagi najczęściej występującą podczas pracy na wysokości – załamanie się podstawy na której stoi pracownik. Wnioski nie budzą zastrzeżeń merytorycznych i potwierdzają tezę postawioną w rozdziale 3 „Teza, cel, program badań”.

Uwagi krytyczne:

Str. 18, co oznacza zdanie: „Model ten stosuje się w przypadku kontaktujących się ze sobą nieodkształcalnych powierzchni w celu symulacji odkształcenia”

Str. 22, Rozdział 4.3.2. Opis najważniejszych członów modelu. Autor w bardzo skrótowy sposób opisuje bardzo złożony model funkcjonalny układu ruchu człowieka opracowany przez TASS International Software and Services. Wydaje się, że lepiej pominąć w pracy tak cząstkowe informacje o szczegółach modelu, poprzestając na przykładzie zamieszczonym na rysunku 9. Dużym utrudnieniem w opisie modelu ciała człowieka, stosowanego w pakiecie MADYMO jest konieczność wprowadzenia polskich odpowiedników pojęć, nie tożsamyh z pojęciami stosowanymi w „klasycznej teorii mechanizmów” i wytrzymałości materiałów, co stało się przyczyną błędów stylistycznych opisu modelu zaproponowanym przez Autora.

Str. 62, „długość nogi” w polskim nazewnictwie anatomicznym nie występuje pojęcie „noga” powinno być „kończyna dolna”, wszystkie podane wymiary nie są jednoznacznie zdefiniowane.

Str. 70, Na rysunku 55 niewłaściwie przedstawiono kąty opisujące położenie miednicy w systemie VICON. Badany przemieszcza się w kierunku 0y, kierunek 0z jest zgodny z pionem, a oś 0x skierowana jest w prawo. Obrót wokół osi 0x to kąt pochylenia miednicy (*pelvic tilt*), obrót wokół osi 0y to wznoszenie i opadanie miednicy (*pelvic obliquity*) i obrót względem osi 0z to rotacja zewnętrzna i wewnętrzna (*pelvic rotation*). Układ odniesienia związany z miednicą jest kartezjański, prostokątny i prawoskrętny. W związku z powyższym zwroty kąta obrotu w płaszczyźnie strzałkowej i płaszczyźnie poprzecznej są, na rysunku, zaznaczone niewłaściwie. W literaturze istnieje wiele sposobów definiujących kąty opisujące ustawienie miednicy. Wydaje się korzystne wprowadzenie, w opisie przemieszczeń miednicy, nazewnictwa polskiego stosowanego w lotnictwie: pochylenie to kąt obrotu w płaszczyźnie strzałkowej, obrót wokół osi 0x, (*pelvic tilt*), przechylenie to kąt obrotu w płaszczyźnie czołowej, obrót wokół osi 0y (*pelvic obliquity*) i odchylenie to kąt obrotu w płaszczyźnie poprzecznej, względem osi 0z (*pelvic rotation*). Takie zdefiniowanie przemieszczeń kątowych miednicy zdecydowanie ułatwi porozumiewanie się w opisie jej funkcjonowania bez konieczności odwoływania się do formalizmu matematycznego, jest to nazewnictwo intuicyjne i dobrze odzwierciedlające idiomatyczne nazewnictwo angielskie.

Wniosek końcowy:

Przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. Podjęta tematyka dotyczy bardzo ważnego problemu jakim jest badanie upadków z dużej wysokości w miejscu pracy. Poznanie zjawiska upadku z wysokości ma istotne znaczenie społeczne, ekonomiczne i może być przydatne w profilaktyce oraz rekonstrukcji tego typu wypadków. Doskonalenie metod badania przyczyn i skutków upadków ma duże znaczenie naukowe w ergonomii, medycynie, kryminalistyce oraz praktyczne dla pracodawców, pracowników pracujących na wysokościach, lekarzy, ubezpieczycieli. Wyniki symulacji komputerowej biomechaniki upadku oraz wyniki wykonanych na ludziach eksperymentów laboratoryjnych dostarczyły nowych i bardzo ważnych informacji na temat przebiegu tego typu wypadków. Opracowanie modelu numerycznego ciała ludzkiego do badania skutków upadków oraz opracowanie laboratoryjnej metody badania zachowania pracownika podczas początkowej fazy upadku z wysokości uważam za bardzo istotne osiągnięcie Autora. Wyniki pracy mają walory poznawcze i na pewno poszerzą wiedzę na temat przyczyn i skutków upadków z wysokości.

Wnoszę do Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie mgr inż. Marcina Milanowicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

