

Oponentní posudek disertační práce

Autor disertační práce:	M.Sc., Eng. Tomasz Bońkowski
Název disertační práce:	Application of Human Body Models in Motorcycle Passive Safety
Studijní obor:	Aplikovaná mechanika
Školitel:	Doc. Ing. Luděk Hynčík, Ph.D.
Školitel specialista:	Doc. Ing. Michal Hajžman, Ph.D.
Oponent:	Prof. Ing. Ondřej Vaculín, Ph.D.
Pracoviště oponenta:	Technische Hochschule Ingolstadt
E-mail oponenta:	Ondrej.Vaculin@thi.de

A. Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Podle dat za rok 2021 se řidiči mopedů a motocyklů podíleli z 19 % na celkovém počtu fatalit na silnicích v Evropské unii, přičemž jejich podíl na dopravním výkonu by výrazně nižší, pohyboval se okolo 2 % člověko-kilometrů realizovaných na silnicích. Nejen z tohoto důvodu je nutné se cíleně a systematicky bezpečnosti uživatelů mopedů a motocyklů věnovat. A právě prostředky pasivní bezpečnost, tedy prostředky pro snížení závažnosti jejich zranění, jsou pro tuto skupinu zranitelných účastníků silničního provozu velmi důležité. **Předložená disertační práce výrazně přispívá k prohloubení znalostí v oblasti pasivní bezpečnosti jednostopých vozidel** s návazností na využití vhodného modelu člověka pro posuzování nehod jednostopých motorových vozidel. Její výsledky umožňují zlepšit predikci poranění při nehodách motocyklů a mopedů, což lze považovat vzhledem ke složitosti dějů v průběhu nehody za velice přínosné.

B. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Autor si v práci na konci první kapitoly stanovil následující cíle, který lze po dekódování zkratk přeložit takto:

- 1) Statistická analýza databáze nehod s cílem získat makroskopické realistické podmínky nárazu a nejčastější konfigurace nehod;
- 2) Modelování zjednodušené přilby a její propojení s modely lidského těla;
 - a) Validace přilby na základě normy;
- 3) Vytvoření numerického modelu nehod jednostopého motorového vozidla ve více scénářích v plném měřítku;
 - a) Vytvoření a validace numerického modelu jednostopého motorového vozidla;
 - b) Propojení modelu lidského těla, motocyklu a osobních ochranných pomůcek;
 - c) Zjednodušení modelu partnerského vozidla;
- 4) Rekonstrukce skutečných případů zahrnujících jednostopé motorové vozidlo, partnerské vozidlo a řidiče;
- 5) Simulace nejběžnějších nehod jednostopého motorového vozidla s partnerským vozidlem s hodnocením kritérií zranění.

Celá práce je koncipována poměrně netradičně, sestává se ze čtyř bloků, přičemž se každý věnuje jednomu podtématu a obsahuje svůj vlastní stav poznání, metody, vlastní výsledky autora a často i závěr.

Kapitola 2 se věnuje cíli 1. Autor v ní shrnuje dostupné databáze a analyzuje data z databáze MAIDS.

Kapitola 3 se věnuje náhradám člověka a kritérii pro hodnocení závažnosti poranění a biomechanickým kritériím. Některé části by bylo možno rozšířit, např. v Kapitole 3 není zmiňován model Hans od Dynamore ani modely, které jsou k dispozici v simulačním balíku MADYMO, což přehled modelů lidského těla nedělá uceleným. Navíc, výše uvedený model lidského těla v MADYMO je zmiňován v sekci 5 na straně 82.

Překvapivě není v sekci 3.2.2. zmiňováno základní 3 ms kritérium, i když se s jeho jistou podobou operuje v Kapitole 6. Taktéž chybí v této sekci i zmínka o Head Performance Criterion (HPC) používaném např. v předpisech EHK OSN (UN ECE).

Kapitola 3 v sekci 3.3 představuje model lidského těla Virthuman a jeho spojení s modelem ochranné přilby pro motocyklisty. Model přilby samotné je pak představen a validován v Kapitole 4, která se věnuje testování opatřením ke snížení zranění. Tím je splněn cíl číslo 2 potažmo 2a.

Kapitola 5 se zabývá rekonstrukcí dopravních nehod a specifiky rekonstrukce pro jednostopá motorová vozidla. Autor v ní představuje model jednostopého motorového vozidla (cíl 3a), zjednodušený model partnerského vozidla Chrysler Neon (cíl 3c) a v Sekci 5.2.3 krátce zmiňuje jejich propojení s modelem lidského těla Virthuman (cíl 3b). Autor následně v Sekci 5.3 pojmenované „Results“ představuje rekonstrukci tří nehod jednostopého a dvoustopého motorového vozidla, čímž splňuje cíl 4.

Cíl 5 je pak splněn v Kapitole 6, ve které autor provádí simulace standardizovaných nehod jednostopých motorových vozidel a na výsledky aplikuje hodnotící kritéria.

Kapitola 7 práci uzavírá. Podobný přehled mapování cílů práce a kapitol nabízí autor v Sekci 7.1. Překvapivě obsahuje práce ještě velice krátkou Kapitolu 8, která čtenáři představuje otevřené problémy. Dle názoru oponenta by postačovalo, aby se tato kapitola přesunula jako sekce do Kapitoly 7.

Z výše uvedeného lze jednoznačně konstatovat, že autor cíle, které si v disertační práci předsevzal, zcela splnil.

C. Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

U technických prací, ve kterých se na vzniku výsledku podílí celý tým autorů nebývá jednoduché exaktně určit vlastní přínos autora rozšiřující současný stav poznání. V tomto případě lze na základě předložené práce i vlastní autorovy publikační činnosti jednoznačně identifikovat výrazný vlastní přínos autora, který dle názoru oponenta převyšuje požadavky na disertační práce.

Hlavním přínosem předložené disertační práce je z pohledu oponenta metodika využití modelu lidského těla Virthuman pro simulace nehod jednostopých motorových vozidel. Aplikace tohoto modelu k analýze dopravních nehod s účastí uživatele jednostopého vozidla umožňuje detailnější možnosti v porovnání jak s fyzickými experimenty, tak i virtuálními metodami založenými např. na v práci zmiňovaném antropomorfním testovacím zařízení (ATD) pro motocykly zvaném MATD. Velkou výhodou je taktéž možnost efektivního využití modelu Virthuman pro různé věkové a

Předložená práce splňuje požadavky na disertační práci. Oponent práci doporučuje k obhajobě.

Oponent by rád položil následující otázky:

1. Why do you not consider fatality an injury severity level (as mentioned in Chapter 1)?
2. The conclusions regarding the correlation of the rider age to the motorcycle category mentioned on the page 31 are quite obvious (e.g. that L1 riders are younger than L3 riders). Could the author comment on the driving licences and minimum allowed rider ages in relation to Figs 2.1. and 2.2? Focus on the category A of driving licences (e.g. AM, A1, A2 and A in the countries in the MAIDS study) in relation to the possible categories. Furthermore, please keep the frequency on the same scale as the y-axis and add the corresponding units.
3. Could you please explain more in detail the content and role of Table 7.1 at the end of your thesis?
4. The accident reconstructions as well the standardises crash configurations presented in the thesis include the "driver-only" configuration. How should the proposed methodology be applied to a motorcycle with two persons?
5. What modifications should be made in order to apply the proposed methods also to the passive safety of cyclists?

Datum: 01.01.2024

Ondřej Vaculín

antropometrické skupiny uživatelů. Dále je v práci dokumentováno porovnání modelu Virthuman s komplexním modelem lidského těla THUMS i redukce modelu dvoustopého vozidla.

D. Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Rozdělení disertační práce do výše zmiňovaných čtyř bloků přispívá k její přehlednosti. V každém bloku pak autor popisuje danou problematiku způsobem, který potvrzuje jeho vynikající znalosti v daných oblastech.

Formální úprava práce bohužel neodpovídá její vysoké odborné kvalitě. Je škoda, že autor nevěnoval po sepsání práce několik málo hodin navíc, aby práci doladil i po formální stránce. V práci zůstaly jak drobné vady na kráse např. v podobě nekonsistentního pojmenovávání obrázků, tak i výraznější chyba spočívající v tom, že na některé obrázky nebo tabulky není odkazováno v textu (např. Obr. 3.20, 3.21, ale i Tab 7.1).

Celé formátování práce má jisté nedostatky, především by oponent očekával, že každá z kapitol začne alespoň na nové stránce a v textu nebudou velké mezery (např. str. 49, 54, 61) způsobené „čekáním“ na obrázky. Dále by měl autor eliminovat místa, kde se dva nadpisy nacházejí pod sebou, např. 3.1 a 3.1.1 na str 14.

Dále lze za formální chybu považovat i neúplný a nepřesný seznam zkratk. Řada zkratk v něm není uvedena (např. velice často užívaná zkratka VH pro Virthuman), což vede k horší srozumitelnosti práce daného rozsahu. Co se přesnosti týče, např. pokud má autor pod sebou v seznamu zkratk ECE 22.05 a ECE R, je zřejmé, že autor má na mysli zkratky UN ECE R a UN ECE R 22.05 (předpisy EHK OSN). V závěru na str. 165 autor zmiňuje „HS“. Oponentovi se nepodařilo dohledat, co touto zkratkou autor vyjadřuje. Na druhou stranu se např. použití zkratk RB uvedené v seznamu zkratkami metodami oponentovi nepodařilo dohledat.

Taktéž označování kategorií vozidel L1 nebo L2 bez vysvětlení nedává pro čtenáře méně seznámeného s kategoriemi vozidel smysl.

Uvádět rozměry a hmotnosti v palcích a librách je pro středoevropskou disertaci ne zcela obvyklé, zejména v případě jednoduché možnosti převodu jednotek do soustavy SI (str. 17 vs. str. 19).

Taktéž se autorovi ne zcela zdařilo číslování rovnic na straně 135 a 138. Autor používá jiného způsobu (dříve bylo použito dvouúrovňové číslování, např. rovnice (3.1) na str 33) a navíc práce obsahuje na uvedených stranách dvě rovnice (5).

V případě, že autor bude práci vydávat knižně považuje oponent za nezbytné formální úroveň významně zlepšit. Oponent mu rád poskytne svoje poznámky, které je nutno považovat za neúplné.

E. Vyjádření k publikacím studenta

Seznam vlastních publikací studenta uvedený v kapitole 10 je úctyhodný. **Student se podílel na vzniku 44 vědeckých publikací, z čehož u 18 publikací je uveden jako první autor,** což lze považovat za vysoce nadprůměrný počet. Bohužel se oponentovi nepodařilo identifikovat, podle jakého klíče je sbírka vlastní literatury řazená.

F. Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje disertační práci k obhajobě.

Oponent přes některé drobné nedostatky považuje práci za aktuální a nesmírně přínosnou.

doc. Dr. Ing. Pavel Polach
Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.
R&D Department
Tylova 1581/46
301 00 Plzeň

Expert Opinion

Doctoral thesis in the branch "Applied Mechanics"

Application of Human Body Models in Motorcycle Passive Safety

Author: M. Sc., Eng. Tomasz Bońkowski

Supervisor: doc. Ing. Luděk Hynčík, Ph.D.

Specialist supervisor: doc. Ing. Michal Hajžman, Ph.D.

The presented doctoral thesis deals with the application of the scalable hybrid human body model for the improvement of motorcyclists' passive safety. At the beginning of the work, it is formulated the core problem statement. The thesis contains several interconnected topics: accident statistics, human surrogates, injury countermeasures testing, accident reconstruction, and full-scale crash tests.

The thesis consists of eight chapters and an appendix (simplified neon validation). The thesis and its supplements are written in English.

In Chapter 1 – "Introduction" – of the thesis, the contents of the thesis are briefly presented and the motivation and its goals are given.

The thesis goals are:

1. Statistical analysis of the accident database to obtain macroscopic realistic impact conditions and most common accident configurations;
2. Modelling of a simplified helmet and coupling with the multibody human model;
3. Creation of full-scale multi-scenario powered two-wheeler numerical accident model;
4. Reconstruction of real cases involving powered two-wheelers, opposite vehicle, and driver;
5. Simulation of most commonly powered two-wheeler – opposite vehicle accidents with injury criteria assessment.

At the end of the chapter, it is stated that based on the stated goals, the main contribution of the work to the scientific field should be a framework for virtual testing methodology to improve the safety of motorcyclists.

Chapter 2 "Accident Statistics" is focused on researching data contained in databases focused on power two-wheeler accidents (HURT Report, CARE Database, GIDAS, and MAIDS). More attention is paid to the data contained in the MAIDS database.

Chapter 3 "Human Surrogate" is again a literature review. It deals with surrogates for the human body used in biomechanical research to simulate human responses in various scenarios. These surrogates include numerical models of the human body, anthropometric testing devices, volunteer testing, and cadaver testing. The chapter also deals with injury metrics and the

Virthuman model (a scalable hybrid human body model developed previously in-house and subsequently incorporated in the ESI Virtual Performance Solution software package).

The beginning of Chapter 4 “Injury countermeasures testing”, like the previous chapters, has a literature review character. In the next part of this chapter, the author created a simplified helmet model based on the finite element method and then, after implementing it into the Virthuman human body model, used it for numerical testing according to European regulations.

The beginning of Chapter 5 “Accident Reconstruction” has a literature review character. In the next part of the chapter, computational reconstructions of three different documented accidents of a powered two-wheeler with a passenger car are performed. Data on documented accidents were drawn from the In-SAFE database (2 accidents) and from the database of the Ludwig Maximilian University of Munich (1 accident), which contain a considerable amount of detail for each documented accident. For the reconstruction of each of the listed accidents, it was necessary to adapt the dimensions of the Virthuman model, to adapt the helmet model to it, to create a simplified model of the opposite vehicle (passenger car), and to create a powered two-wheeler model. All models, based on the finite element method, had to match the data documented in real accidents.

Chapter 6 “Full-scale crash tests” begins again with a review of literature. ISO 13232 standard “Motorcycles – Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles” is then presented. For each ISO 13232 crash configuration, a motorcycle driver model (represented by Virthuman) with a helmet placed on the motorcycle model was built in the ESI Virtual Performance Solution (VPS) software. Crash simulations were performed until the highest possible injury criterion was reached. Furthermore, a parametric study specifically investigating the influence of rider stature on injury outcomes is carried out.

The presented work is summarized in the thesis conclusion (Chapter 7). It is stated: "In summation, this dissertation presents a comprehensive exploration into the intricate realm of impact biomechanics, human body modelling, and the imperative considerations surrounding the passive safety of powered two-wheeler drivers." In this chapter, it is also declared (and substantiated) that all the stated objectives of the doctoral thesis have been met.

Further continuations of works related to the works presented in the thesis are briefly presented in Chapter 8 “Future Research”.

In the supplement (“Appendix 1 – Simplified Neon Validation”) the validation of the simplified car model used in simulations as an opposite vehicle is declared.

The importance of a dissertation for a scientific field. The significance of the dissertation for the field of passive safety of powered two-wheeler drivers is in the simulations of various types of motorcycle and passenger car accidents. Reconstructions of three traffic accidents and all full-scale crash tests according to the ISO 13232 standard were modeled very precisely. The results of the simulations, especially the acceleration time histories, are useful for evaluating the seriousness of the motorcycle driver's injuries in simulated crash accidents.

A statement on the procedure for solving the problem, the methods used, and the fulfillment of the specified goal. The procedure to solve the problem was systematic. Records of traffic accidents and crash tests according to the ISO 13232 standard were thoroughly analyzed. Based on them, corresponding computer models were created very precisely and simulations of investigated traffic accidents were carried out with them. Regarding the methods used... This is a very high-quality approach to modeling in professional software based on the finite element

method. This is sophisticated engineering work rather than scientific work. As regards the fulfillment of the specified objectives (i.e. the stated objectives 1 to 5), they were achieved.

Opinion on the results of the dissertation and on the original concrete contribution of the submitter of the dissertation. As it was already stated, the results of the simulations, especially the acceleration time histories, are useful for evaluating the seriousness of the motorcycle driver's injuries in simulated crash accidents. The original contribution of the author of the dissertation is in the creation of a simplified FEM model of the helmet and in the very careful creation of precise models of real traffic accidents and crash tests according to the ISO 13232 standard.

Statement on the systematicity, clarity, formal arrangement, and language level of the dissertation. The dissertation is very comprehensive. Some parts even give the impression of an encyclopedia. It is systematic, formal and the language level is very good (sometimes small typos). Overall, the work is clear, but sometimes it is necessary to examine what is the contribution of the author and what knowledge is taken from elsewhere.

Statement on student publications. The student's publication activity is at a very good level, it is extensive (a total of 43 publications). These are mainly conference papers. 9 publications are listed in WoS (of which 4 with an impact factor, H-index 2), and 29 publications are listed in the Scopus database (H-index 4). He is listed as the first author of 17 publications. In addition, the student is the author of one PCT patent.

There are two supplementary queries for the author as follows:

1. How did you fit the helmet model to the size of the Virthuman head and how was it attached to the head?
2. On what basis did you choose simulated traffic accidents?

By writing the thesis the author proved to have a good professional knowledge that extends knowledge in the fields of computer modeling and biomechanics. **I recommend accepting the dissertation for defense.**

Plzeň, February 8, 2024