

VIRTUÁLNÍ SIMULACE S VYUŽITÍM BIOMECHANICKÝCH MODELŮ ČLOVĚKA JAKO PODPORA SOUDNÍHO ZNALECTVÍ

Luděk Hynčík¹, Hana Kocková², Jan Kovanda³, Petr Krejčí⁴

Abstrakt

Častou dopravní nehodou je střet chodce s dopravním prostředkem a to nejen na silnici, ale i na kolejích. Příspěvek popisuje možné využití biomechanických modelů zahrnujících např. svalové předpětí jako prostředek pro analýzu reálných dopravních nehod s ohledem na popis poranění.

ÚVOD

Biomechanické simulace nabývají v poslední době na významu. Jsou vyvíjeny lepší a komplexnější biomechanické modely člověka, jejichž aplikace směřuje do oblasti automobilového průmyslu, sportu, virtuální chirurgie, ergonomie nebo vojenství.

MODEL CHODCE

Model ROBBY2 vytvořený jako vázaný mechanický systém [3] je vyvíjen pro průmyslové aplikace od roku 1997. V současné době jeho rodina obsahuje modely 50%-ního muže a 5%-ní ženy. Jejich struktura je shodná, rozdíly jsou pouze v geometrii, rozložení hmoty a charakteristice svalů a kloubů. Na základě jednoduchého škálovacího algoritmu [4] je možno vytvářet modely muže a ženy ve věku od 6 do 55 let. Model je úspěšně validován pro čelní náraz. V modelu je v současnosti implementován vylepšený kolenní kloub [1] vhodný i pro boční náraz.

Poranění člověka v biomechanických simulacích se stanovuje pomocí standardních kritérií poranění. Hodnoty těchto kritérií jsou odvozeny z experimentů. Pro modely sestavené z tuhých těles se vyhodnocuje ze zrychlení, kterým tělní segmenty podléhají. Pro poranění hlavy je použito kritérium HIC, kritérium 3ms se vztahuje k poranění hrudníku [6].

STŘET S VOZIDLEM

Následující odstavce popisuje modelování střetu dopravního prostředku s chodcem. Jsou popsány dva případy:

- Střet dodávky s chodcem, kde je simulace podpořena experimentem a výsledky jsou s tímto experimentem porovnány

¹ Hynčík, Luděk, Ing. Ph.D. – 1. autor, Nové technologie – Výzkumné centrum v západočeském regionu, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel. 377634709, e-mail: hyncik@ntc.zcu.cz

² Kocková, Hana, Ing. Ph.D. – 2. autor, Nové technologie – Výzkumné centrum v západočeském regionu, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel. 377634709, e-mail: kockova@ntc.zcu.cz

³ Kovanda, Jan, Prof. Ing. CSc. – 3. autor, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, e-mail: kovanda@fd.cvut.cz

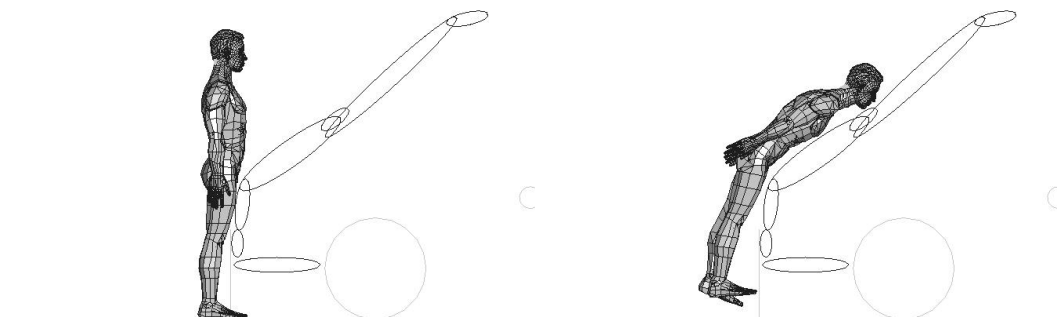
⁴ Krejčí, Petr, Ing. – 4. autor, S&T CZ, Na Strži 1702/65, 140 00 Praha 4, e-mail: Petr.Krejci@sntcz.cz

- Střet kolejového vozidla s chodcem - chodec přecházející před tramvají

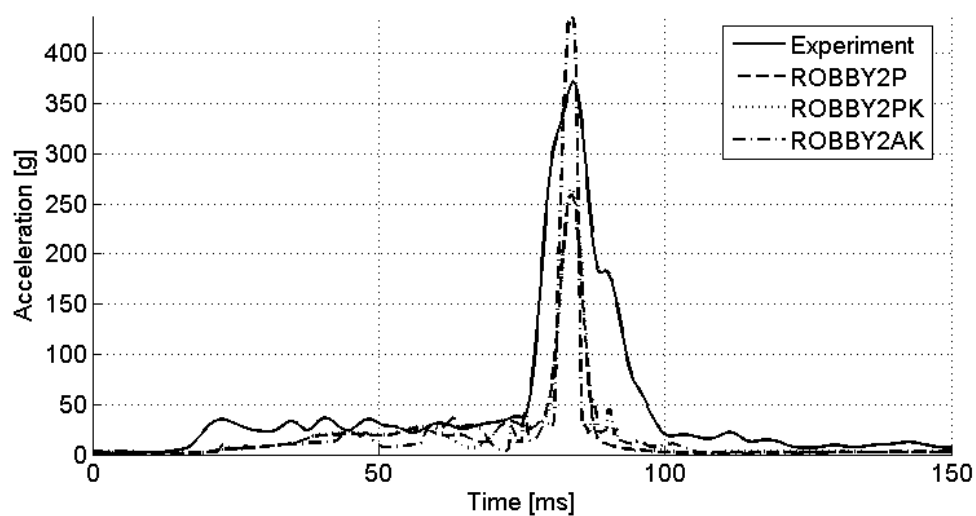
Náraz dopravního prostředku do chodce je nutno rozdělit na dvě důležité části. První částí je primární náraz čela vozidla do chodce, který ho většinou odmrští a dochází k sekundárnímu nárazu chodce do objektů poblíž (vozovka, zábradlí apod.). Sekundární náraz je sám o sobě velkou kapitolou týkající se infrastruktury vozovky a nebude zde řešen.

Střet dodávky s chodcem

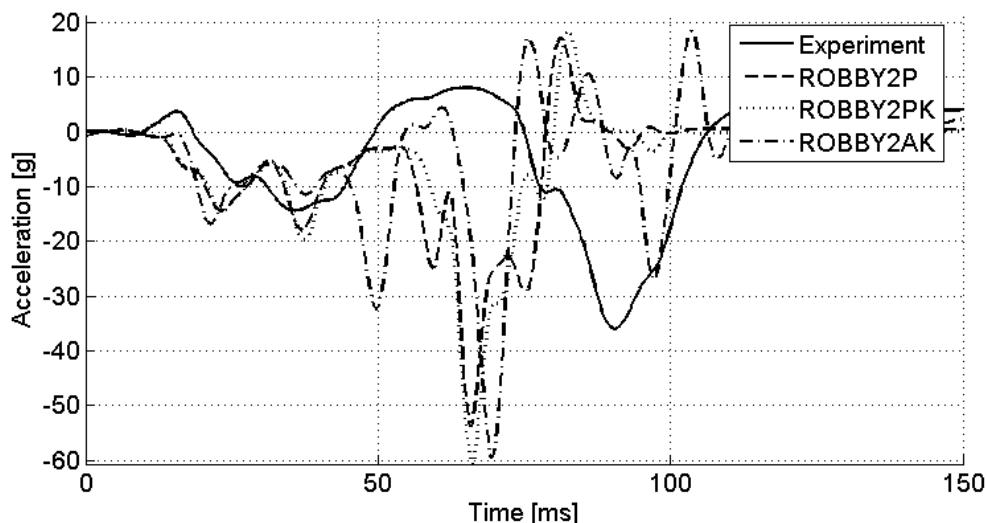
Střet dodávky s chodcem je simulován na základě experimentu provedeného na Fakultě dopravní ČVUT s využitím vozidla Ford Tranzit a figuríny MANIKIN. Výsledky simulace byly porovnány s experimentem [5]. Model vozidla je převzat z [5]. Nárazová rychlost byla 28 km/h a vozidlo brzdilo se zpomalením 0.8 g. Je nadefinováno reálné tření mezi chodcem a vozovkou a kontakt mezi chodcem a vozidlem. Obrázek č. 1 ukazuje polohu těla na počátku a v čase 100 ms po nárazu. Při srážce vozidlo nejprve naráží do oblasti pánve a stehna chodce, který po té dopadá hrudníkem na kapotu a nakonec naráží i hlavou. Obrázek č. 2 ukazuje celkové zrychlení těžiště hlavy. Obrázek č. 3 ukazuje čelní zrychlení těžiště hrudníku. Zrychlení jsou filtrována filtrem CFC60.



Obrázek č. 1 – Čelní střet dodávky s chodcem (0 a 100 ms)



Obrázek č. 2 – Výslednice zrychlení těžiště hlavy při čelním střetu s dodávkou



Obrázek č. 3 – Dopředné zrychlení hrudníku při čelním střetu s dodávkou

Výsledky simulace ukazují velmi dobrou korelaci s experimentálními daty. Porovnaná kritéria poranění jsou uvedena v tabulce č. 1 a tabulce č. 2. Simulace byla provedena pro 3 varianty modelu člověka:

- Model s původním kolenem
- Model s vylepšeným kolenem – zde je vidět nutnost korektního modelování
- Aktivní model s vylepšeným kolenem, který obsahuje svalové předpětí

Předchozí obrázky a následující tabulky ukazují nutnost korektního modelování v biomechanice. Je vidět, že jednoduchý model kolene není srovnatelný ani s jednoduchou figurínou, zatímco vylepšený model kolene dobře koresponduje s experimentálními výsledky. Přestože výsledky zahrnující model s předpětím svalů nutným k udržení ve stoje nelze z principu srovnat s experimentálními výsledky s pasivním modelem, je zde vidět výhoda virtuální simulace s možností zahrnout jevy, které nelze experimentálně popsat.

	Experiment	Jednoduché koleno	Vylepšené koleno	Aktivní model
HIC 36 ms	7467	6317	6868	8485

Tabulka č. 1 – Kritérium HIC

	Experiment	Jednoduché koleno	Vylepšené koleno	Aktivní model
3ms	36.8	38.1	26.5	55.3

Tabulka č. 2 – Kritérium 3ms

Střet tramvaje s chodcem

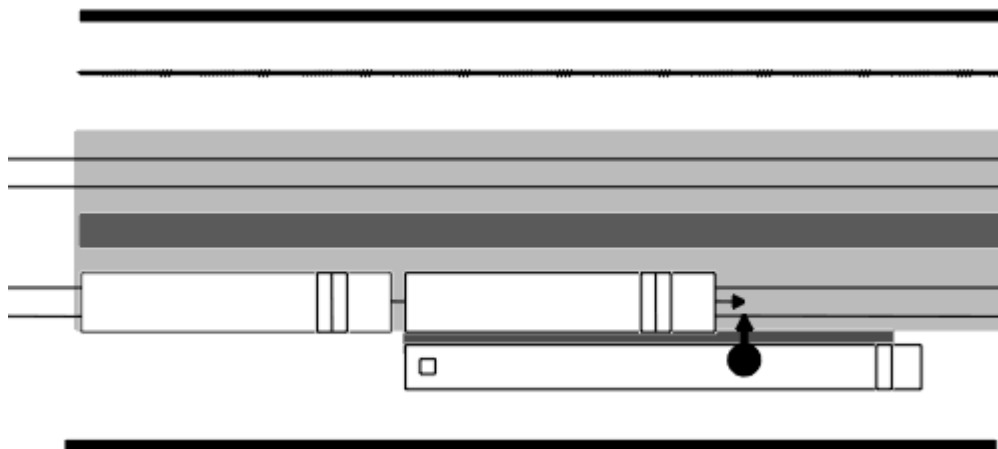
Tramvajová doprava bývá nedílnou součástí městské hromadné dopravy řady našich měst a podílí se i na dopravních nehodách. Kolize s tramvajemi bývají tragické zejména pro chodce. Většinou k nim dochází proto, že ostatní účastníci neznají nebo podceňují technicko-provozní data tramvajů, nebo tramvajových souprav. Málokdo, zejména děti a senioři,

**XVII. Mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství
Brno, 25. – 26. 1. 2008**

přemýšlí o tom, že spadané listí nebo mokrá kolej prodlouží mnohonásobně brzdnou dráhu tramvajové soupravy, která je i vzhledem ke své hmotnosti podstatně delší než u silničních motorových vozidel. Jenom za rok 1999 došlo na území České republiky, podle údajů služby dopravní policie Policejního prezidia ČR, celkem k 1 800 dopravním nehodám s účastí tramvajů, přičemž pouze 315 jich zavinili řidiči tramvajů [1]. Centrum dopravního výzkumu identifikovalo tři základní situace střetu tramvajové soupravy s chodcem.

Situace 1

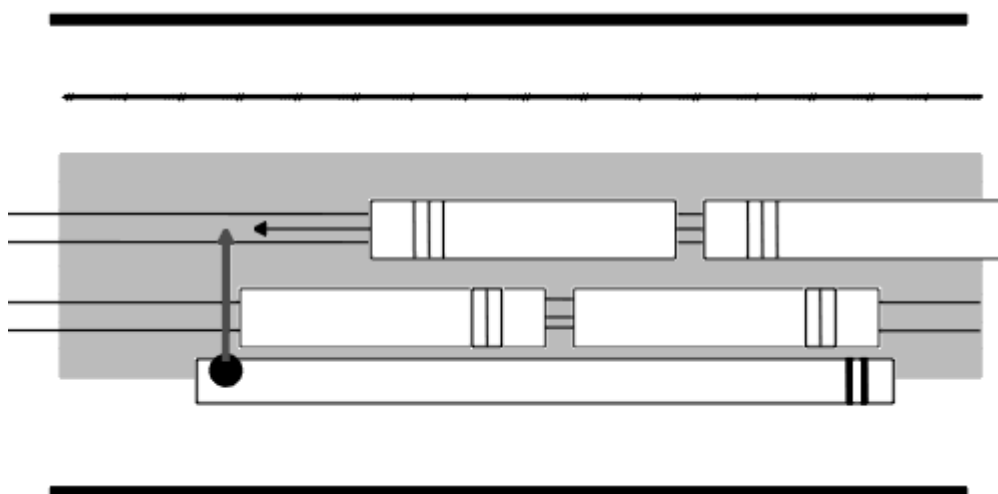
Situace 1 (viz obrázek č. 4) je náhlé vstoupení před tramvaj přijíždějící do zastávky nebo stání na samé hraně ostrůvku tramvajové zastávky. Nerozvážený krok nebo ztráta rovnováhy osoby stojící na této hraně mívá většinou velmi vážné následky.



Obrázek č. 4 – Situace 1 [1]

Situace 2

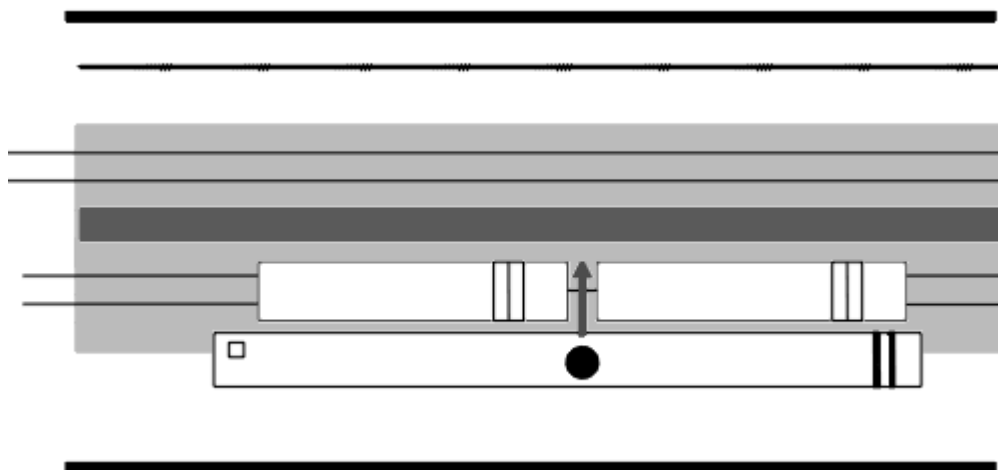
Situace 2 (viz obrázek č. 5) zobrazuje náhlé vstoupení před tramvajovou soupravu za jinou tramvajovou soupravou, stojící v zastávce. Vyšší nebezpečí nastává, pokud chodec překonává zábradlí oddělující například dvě tramvajové zastávky od sebe.



Obrázek č. 5 – Situace 2 [1]

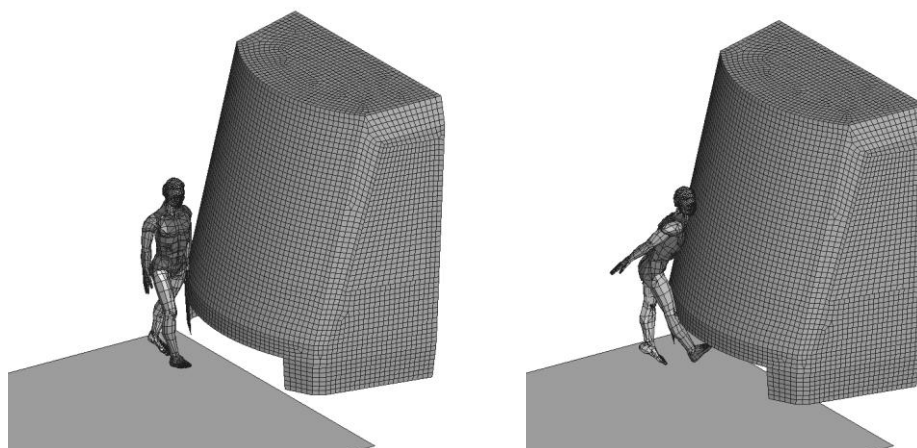
Situace 3

Situací 3 (viz obrázek č. 6) se rozumí průchod mezi jednotlivými vozy tramvajové soupravy stojící v zastávce. Vzhledem k tomu, že do tohoto prostoru řidič tramvajové soupravy nevidí, končí takovýto přechod ve valné většině pro chodce smrtelným úrazem.

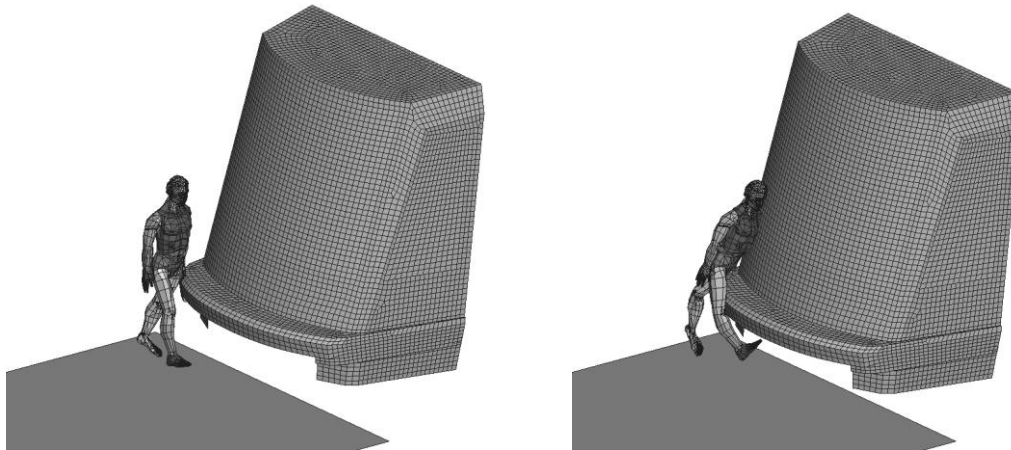


Obrázek č. 6 – Situace 3 [1]

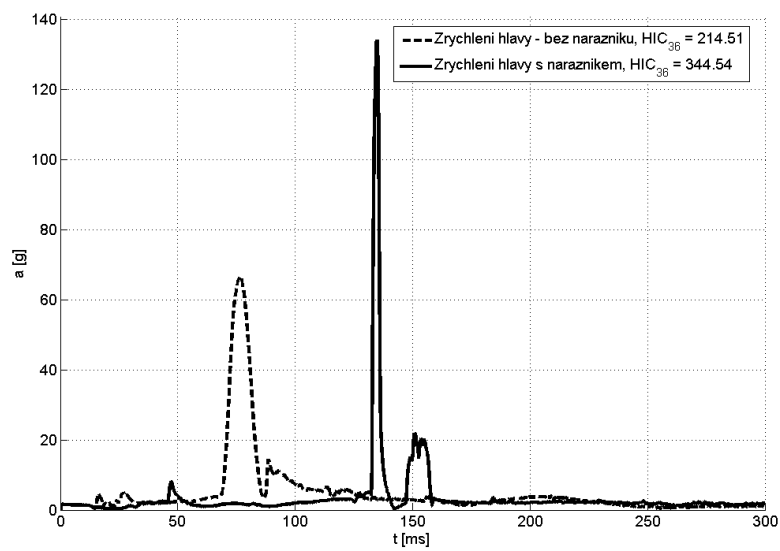
Tato práce je zaměřena na primární náraz se snahou analyzovat vliv polohy nárazníku tramvaje na změnu hodnot kritérií poranění chodce během střetu. Byla vybrána situace 2, při které dochází zpravidla k odražení chodce od tramvajového vozidla. Tato situace může být interpretována jako nerozvážené vstoupení chodce do kolejí. Ke střetu dochází přibližně 450 ms po vykročení. Předpětí svalů dolních končetin chodce odpovídá chůzi v této poloze, chodec jde rychlostí 1 m/s. V případě střetu chodce s tramvají s plochým čelem naráží chodec rovnoměrně horní polovinou těla a po té je odmrštěn. Tramvaj s nárazníkem naráží nejprve do oblasti steh, po té dopadá trup a hlava na čelo těla chodce sklouzne po nárazníku. Nárazník způsobí větší poranění kolen, ale sníží hodnoty ukazující míru poranění hrudníku. Situace před i po nárazu je znázorněna na obrázku č. 7 (ploché čelo tramvaje) a obrázku č. 8 (čelo s nárazníkem).



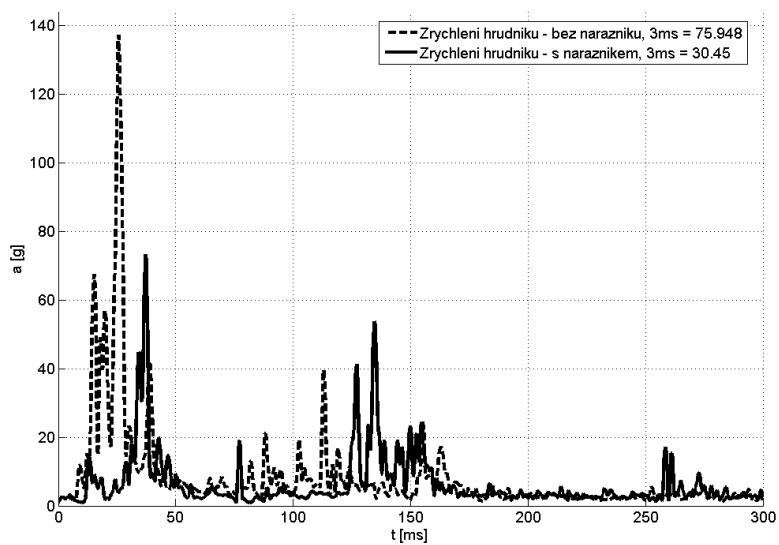
Obrázek č. 7 – Střed tramvaje s chodcem – ploché čelo tramvaje



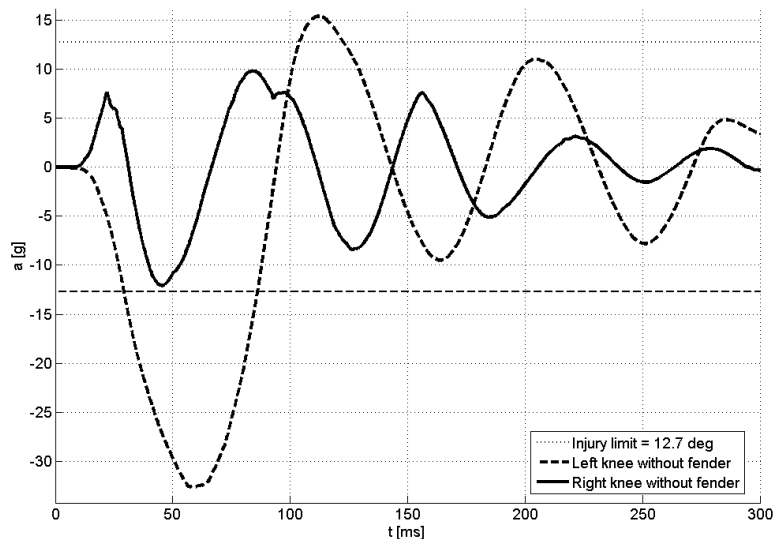
Obrázek č. 8 – Střed tramvaje s chodcem – nárazník



Obrázek č. 9 – Střed tramvaje s chodcem – zrychlení hlavy včetně kritéria poranění HIC



Obrázek č. 10 – Střed tramvaje s chodcem – zrychlení hrudníku včetně kritéria 3ms



Obrázek č. 11 – Střed tramvaje s chodcem – ohyb kolene

Obrázky č. 9, 10 a 11 ukazují zrychlení těžiště hlavy, hrudníku a ohyb kolene včetně kritérií poranění.

ZÁVĚR

Příspěvek ukázal využití biomechanického modelu člověka pro simulaci vlivu dopravních nehod. Možná poranění chodce byla analyzována pomocí standardních kritérií. Byl modelován čelní náraz automobilu, který umožnil díky experimentu Fakulty dopravní ČVUT srovnání simulace s experimentem a popis vlivu předpětí svalů, a střet chodce s tramvají.

Z porovnání aktivního a pasivního modelu člověka lze usuzovat, že svalová aktivita ovlivňuje průběh nehody a zcela určitě má vliv na výsledné poranění chodce. Použití svalových předpětí tedy opět o krok přibližuje simulaci reálné situaci, na druhou stranu však přináší potřebu dalších vstupních parametrů, jejichž získání není jednoduché.

Takové simulace lze upravit pro konkrétní situaci, např. změnou vzájemné polohy dopravního prostředku a chodce nebo změnou počáteční rychlosti, a sledovat, jak se mění kinematika pohybu oběti či hodnoty kritérií poranění, která přímo ovlivňují daná poranění.

LITERATURA

[1] <http://www.cdv.cz>

[2] HYNČÍK, Luděk: *Knee articulated rigid body model*. In Computational mechanics 2006. Pilsen : University of West Bohemia, 2006. s. 195-200. ISBN 80-7043-477-5.

[3] HYNČÍK, Luděk: *Rigid Body Based Human Model for Crash Test Purposes*. Journal Engineering Mechanics, volume 5, 2001, pp. 337-342, ISSN 1210-2717.

**XVII. Mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství
Brno, 25. – 26. 1. 2008**

[4] HYNČÍK, Luděk, NOVÁČEK, Vít, BLÁHA, Pavel, CHVOJKA, Ondřej, KREJČÍ, Petr: ***On scaling of human body models.*** In Applied and Computational Mechanics. 2007, roč.2007, sv.1, č.1, s.63-76, ISSN 1802-680X.

[5] KOVANDA, Jan, LENK, Jaroslav; FIRST, Jiří; MIČUNEK, Tomáš; SCUDERI, Fabio, MARŠÍK, Josef, KOVANDOVÁ, Hedvika; SCHEJBALOVÁ, Zuzana: ***Modely řidiče a cestujících pro aplikaci v silniční dopravě, silniční vozidla – počítačový model ve vhodném prostředí, silniční vozidla – nechráněný cestující (řidič), chodec v kolizi s vozidlem.*** Dílčí zpráva řešení projektu MPO č. FT-TA/024 ke dni 31.12. 2005.

[6] SCHMITT, Kai-Uwe, NIEDERER, Peter F., WALZ, Felix: ***Trauma biomechanics, Introduction to accidental injury.*** Springer-Verlag, Germany, 2004.

[7] ***PAM-SAFETM 2007 Users Manual.***

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl za podpory projektu Ministerstva průmyslu a obchodu FT-TA/024. Zvláštní poděkování patří ESI Group International a nadaci John H. and Any Bowles.