

POSUDEK NA DISERTAČNÍ PRÁCI

ing. Jakub SEIDL

Metodika návrhu čela tramvaje pro snížení následků nehod na osobní automobily

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2024

OR: Strojní inženýrství

Obor: Dopravní stroje a zařízení

Dosažení stanoveného cíle.

1. Statistická analýza nehodovosti z dat DP a PČR.
2. Výpočtový scénář nehody tramvaj x automobil využitím analýzy statistiky.
3. Vytvoření zjednodušených simulačních modelů nehody tramvaj x automobil (tramvaje provozované v ČR dle ČSN EN 15227, srovnání s modelem tramvaje před použitím uvedené normy).
4. Detailní model s definovanou koncepcí prvků.
5. Analýza vlivu deformačních prvků na následky nehod na autech a návrh úprav čel tramvají pro snížení uvedených následků.

Všechny uvedené stanovené cíle byly dosaženy. Jsou detailněji analyzovány v následujících kapitolách

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Autor využívá některé publikace z citačních databází a dále rozmanité zprávy, proceedings, legislativní požadavky na konstrukci v kolizní odolnosti-normy a statistiky dopravních nehod. Tramvaje jsou normou ČSN EN 15227 zařazeny do konstrukční kategorie C-IV a z pohledu pevnostních požadavků patří do normy ČSN EN 12663 – P IV nebo P-V. Obrysové požadavky řeší norma ČSN 28 0318. Důležitou je i technická zpráva CEN/TR 17420 řešící problematiku bezpečnosti chodců – zejména primárního a terciárního nárazu. Důležitým požadavkem je tzv. partnerská ochrana – ochrana i posádky kolidujícího vozidla = kompatibilita vozidel (tuhostí, hmotnostní a geometrie). Dalšími důležitými skutečnostmi jsou disertantem analyzována biomechanická kritéria poranění člověka např. HIC 15ms odvozené od WSTC křivky a vycházející z detekovaných hodnot ve figurínách (s vysokou biofidelitou) určených ke crashtestům. K nim jsou již poskytovány i modely výpočtové. Obecně jsou figuríny různých provedení = tuhá tělesa až poddajná tělesa a jejich kombinace včetně modelů škálovatelných. Chybí představení validace figuríny viz níže. A dále chybí zmínka o výsledcích publikací interakce tramvaj x člověk a také bočních kolizí auto x tramvaj.

Teoretický přínos disertační práce

Disertační práce má **široký teoretický význam**, neboť navrhuje postupy v řešení konkrétní problematiky dopravních nehod mezi tramvají a osobním automobilem. V práci autor postupuje systematicky od jednodušších, dílčích řešení až po komplexní model, umožňující nej přesnější výsledky simulací.

Praktický přínos disertační práce

Disertační práce, díky výsledkům, vykazuje velmi **vysokou přidanou hodnotu** vzhledem k požadavkům, které si klade. Společenská potřeba **zejména z hlediska ochrany zdraví**, tak z hlediska snižování nákladů na ošetření, nákladů na opravu i plynulosti dopravy. Ukazuje dále na potřebu věnovat se konkrétním technickým řešením konstrukcí vozidel, aby se i nadále snižovaly negativní důsledky dopravních nehod mezi tramvají a osobními automobily.

Vhodnost použitých metod řešení

Pro práci je použit výpočtový model - **WorldSID50th Male** kombinující tuhá tělesa. Nejsou ale uvedeny výsledky popisované validace figuríny, což by právě pro užitou figurínu bylo přínosné, bylo by možné konfrontovat biomechanické parametry figuríny a reálných dat. Dále jsou používány výpočtové modely OA – zde **Toyota Yaris 2010**. Zde sledované parametry modelu a reálného vozu jsou uvedeny.

Metody konstrukce modelů, výpočtové – **simulační metody a metody citlivostní analýzy prokázaly relevantní výsledky, které byly jako cíle definovány**, jsou dostatečně citlivé a mohou tak v dalších výzkumech být využívány pro získávání řešení požadovaných cílů.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

1. **Statistické vyhodnocení nehod - střetů tramvají s ostatními účastníky** provozu jsou přehledně uspořádány v tabulkách a dávají přehled o počtu a důsledcích všech uvažovaných nehod.

2. **Výpočtový scénář nehody tramvaj x automobil** – kolmé postavení automobilu na směr jízdy tramvaje – rychlost nula a max. rychlost tramvaje 50 km/h kdy jsou překračována biomechanická kritéria zranění. Tento scénář byl vytvořen na základě analýzy nehod.
3. **Vytvoření zjednodušených simulačních modelů** bylo provedeno v prostředí SW Catia V5, Ansys a LS-PrePost a to tak , aby vystihlo podstatné vlastnosti a chování důležitých prvků modelů a výsledky mohly být relevantně interpretovány.

4. Submodely tramvaje

Typ A – bez deformačního prvku – ne norma ČSN EN 15227

Typ B – absorbéry 775 mm

Typ C – absorbéry 525 mm

Využity geometrie pro 3D modely pouze z dostupných zdrojů, ne z dokumentace. Modely tramvají byly uvažovány jako dokonale tuhá tělesa aby nedošlo k větším zkreslením výpočtů. Takto byly vytvořeny simulační modely všech tří typů kabiny tramvají.

5. Submodely deformačních prvků

Typ A – bez deformačního prvku

Typ B a C – s absorpčními členy

Charakteristiky podle firmy Oleo a dále dle ČSN EN 15227 a zkušenosti pracovníku ČVUT.

Charakteristiky byly velmi dobře ověřeny kalibračními zkouškami.

6. Sestavení zjednodušených simulačních modelů

Podle standardů z jednotlivých submodelů. Výpočty provedeny na 7 rychlostech tramvaje 10 až 50 km/h vždy 3x. Z průměrů vyhodnoceno HIC a 3ms kritérium. Vše velmi dobře dokumentováno obrazovými i grafickými výstupy.

Model A má ve výsledku nižší kritické parametry (**HIC a g** pro 3ms), neboť kontaktní bod je položen v nižší hladině (stehna) než u typů tramvají B a C (hrud' a rameno).

Nejhorší výsledky nalezeny u typu B a ten je vybrán pro další analýzu.

Protože zjednodušené modely nepostihují komplexně simulované reality, byl vytvořen dále **model komplexní**. Obsahuje hmotové členění zatížení, dva články, spojení, a všechny dříve využívané parametry. V SW CATIA V5 byl vytvořen 3D CAD model celé tramvaje B včetně podvozku pro výpočtové simulace MKP. El. komponenty a cestující byly reprezentováni hmotnými body, horní spojení pomocí dvou částí příčné tyče s pružinou, spodní spojení sférickou vazbou. Obdobně dále jednotlivé komponenty podvozku, dvojkolí apod. Všechny modely dílčích elementů jsou graficky zobrazeny. Simulační model vytvořený ze submodelů postihuje reálné rozložení hmotností, sednutí ve vypružení a pohyby článků tramvaje vlivem nárazu do auta.

Komplexní simulace (12h pro čas simulace 80ms) byla obdobně provedena 3x a výsledkem je průměrný průběh simulace, který je přesnější než simulace jednotlivých submodelů (8h pro čas simulace 80ms). Výsledky splňují požadavky bezpečnosti a proto je možné se věnovat optimalizaci čel tramvají.

7. Analýza vlivu deformačních prvků na následky nehod na autech a návrh úprav čel tramvají pro snížení uvedených následků.

Výsledek vlivu tuhosti deformačních prvků na následky nehod na autech je přehledně v tab. 4-15. Průběhy zrychlení hlavy řidiče v obr. 4-54. Tuhosti 87-125 kN/mm jsou výrazně vyšší než u boku osobního vozu. Obdobně tuhosti od 12,5 do 25 kN/mm se rychle realizovaly ve vyčerpání zdvihu absorbéru a nastoupila vysoká tuhost 125,5 kN/mm. Tím obě tyto skupiny “výrazněji ohrozily” posádku automobilu. Nejvhodnější tuhost deformačního prvku se tedy pohybuje mezi 37,5 až 50 kN/mm. Při hodnotě tuhosti absorbéru 37,5 kN/mm se snížila hodnota 3ms kritéria o 25% vůči nominální hodnotě.

Výškové pozice deformačních prvků byly analyzovány simulacemi mezi 400 až 900 mm nad TK po 50 mm. Výsledky citlivostní analýzy jsou uvedeny v tab. 4-16 a průběhy zrychlení hlavy řidiče na obr. 4-57. Pro výšku do 600 mm není překročena hodnota kritéria 3 ms a ve výšce 400 mm nad TK je hodnota nižší o 59%!

Obdobně bylo postupováno u analýzy **výšky nárazníku** – zde vliv na snížení kritéria 3ms je minimální z důvodů zaoblení karoserie auta. U **šířky nárazníků** se citlivostní analýzou prokázal přímo úměrný vliv. Nejvíce se snížilo 3ms kritérium o 47% při šířce 1000 mm a to v důsledku kontaktu nárazníku se sloupky A a B.

Optimalizací deformačních prvků lze tedy jednoznačně ovlivňovat důsledky kontaktu tramvaje s osobním automobilem na zranění cestujících. Z výsledků vyplývá, že navrženými úpravami deformačních prvků se posunula kritická rychlost tramvaje o + 15km/h a při umístění kontaktního místa do výšky cca 400 mm, což je významný výsledek pro praxi.

Dalšími cíli pro další výzkum se díky výsledkům práce jeví vyřešení návrhu umístění konstrukčního řešení nového (upraveného) deformačního prvku v zástavbě čela tramvaje a řešení funkčnosti spřáhla.

Zda doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru

Publikace v oboru uvedené na WoS nejsou nalezeny. Je třeba situaci popsat a vysvětlit vzhledem k požadavkům OR a akreditačním podmínkám DSP, neboť na jiných typech univerzit

jsou v DSP požadovány od doktoranda min jedna až dvě impaktované publikace splňující další podmínky kvality. V oblasti „Trafic, injury ...“ existuje v záložce JCR na WoS celá řada publikací s IF. Proti této skutečnosti stojí fakt, že disertant, podle seznamu použité literatury, publikace s IF využívá, avšak velmi málo, což může být hendikep v získávání recentních informací ze zahraničí. Využívá ovšem i např. proceedings či jiné odborné publikace.

Doktorand však publikoval výsledky své práce ve větším rozsahu cca 14ti a dalších 7 publikací a na 13ti konferencích a zúčastňuje se řešení řady grantových úloh.

Formální úroveň práce

Připomínkuji pouze skutečnost, že standardně se používá plurálu, neboť disertační práce, ale i ostatní publikace, bývají spoluprací doktoranda a dalších jedinců i týmů.

V ostatních parametrech je možné považovat práci za velmi kvalitně zpracovanou jak po stránce metodické, tak formálních kroků, kvality grafických, tabulkových i obrazových výstupů, seznamu zkratk, literatury apod. Orientace čtenáře je pak komfortní.

Na základě posouzení disertační práce doporučuji práci k obhajobě. V případě úspěšného obhájení navrhuji udělení titulu Ph.D. dle zákona č. 111/1998Sb.

V Praze dne 17. ledna 2024

doc. dr. Karel Jelen, CSc.