VYUŽITÍ NUMERICKÉ ANALÝZY PRO NÁVRH A OVĚŘENÍ MOSTNÍCH SVODIDEL

Zpracovali: Ing. Jiří Drozda., doc. Ing. Tomáš Rotter, CSc. (ČVUT v Praze)

Souhrn

Mostní svodidla jsou nutnou součástí mostů na dálnicích, rychlostních komunikacích a silnicích první tříd. Jejich vývoj a optimalizace jsou velmi důležité, protože mohou mít ekonomický přínos na celkovou cenu mostního díla, ale mohou také přispět ke zvýšení bezpečnosti provozu na mostě. Mostní svodidlo je silniční záchytný systém, který má zabránit neovladatelnému vozidlu v nárazu do překážky nebo pádu z mostní konstrukce. Mostní svodidla patří mezi stavební výrobky, které mají být uváděny na trh s označením CE v souladu s NV 190/2002 Sb. a ČSN EN 1317. Problémem je, že aby svodidlový systém získal toto označení, je vyžadováno provedení několika reálných nárazových zkoušek. Předmětem tohoto výzkumu je, zda by tyto reálné nárazové zkoušky nemohly být částečně nahrazeny numerickou simulací.

Oblast použití

Simulace nárazové zkoušky pomocí metody konečných prvků (MKP) s explicitní časovou integrací je možné využít při vývoji nebo inovaci svodidlových systémů a to tak, že na základě výsledků výpočtů budou stanovena kritéria přijatelnosti v souladu s požadavky dle ČSN EN 1317-2. Tato kritéria budou stanovena na základě stejných parametrů, které jsou v současné době získávány z měření provedených v průběhů reálné nárazové zkoušky. Obdobným způsobem je využíváno MKP v automobilovém průmyslu při simulaci nárazových testů nových vozidel, ale použití tohoto typu výpočtu při vývoji stavebních konstrukcí nebo jejich částí je zatím velmi ojedinělé. To, že zatím není tento typ MKP výpočtu ve stavebnictví často používán, je dáno především tím, že stavební konstrukce jsou rozsáhlá díla a že v českém prostředí zatím nebyla zpracována žádná metodika, jak postupovat při použití tohoto typu výpočtu. Velikost stavebních konstrukcí při použití MKP s explicitní časovou integrací především přináší problém s vyššími časovými nároky, což zvyšuje nákladnost těchto výpočtů. Tento problém byl částečně odstraněn příchodem novějších a výkonnějších typů počítačů. Absence ověřené metodiky zabývající se použitím výpočtu s explicitní časovou integrací ve stavebnictví má za důsledek, že nemůže být plně využit potenciál tohoto typu výpočtu při návrhu stavebních konstrukcí, které jsou zatížené rychlými dynamickými ději, jako je např. náraz vozidla, vlaku či letadla nebo účinky exploze. Proto cílem této práce je zpracovat takovou metodiku, která ukáže, jak je možné využít tento typ výpočtu při návrhu silničního svodidla. Tím bude i částečně zaplněna mezera, jež v současné době v tomto odvětví výpočtů existuje.

Metodika a postup řešení

Vlastní postup řešení je rozdělen do následujících tří částí:

1. V první části byla provedena rešerše řešeného problému jak v českém, tak i v zahraničním prostředí. Cílem bylo vytvořit přehled všech dostupných postupů validace, které lze použít ke stanovení míry shody mezi naměřenými a vypočtenými veličinami časově závislými. Zároveň v průběhu této části byly shromážděny materiály k vytvoření konečně prvkového modelu mostního zábradelního svodidla a potřebných typů vozidel.
2. Druhá část se zabývala ověřením správnosti konečně prvkových modelů, které budou využity k simulacím nárazových zkoušek. Tato část také zahrnovala stanovení materiálových modelů, které budou použity pro jednotlivé částí svodidlového systému, jako je betonová mostní římsa, ocelové části svodidla a šroubové spoje.
3. V závěrečné části byl nejprve vybrán a prověřen MKP program, ve kterém budou provedeny výpočty, a dále bylo připraveno vše, aby mohly být provedeny jednotlivé simulace nárazových zkoušek typu TB11 a TB61. Především byl vytvořen zjednodušený výpočet sloužící k ověření vybraného MKP programu. Součástí této části byla také příprava hodnocení shody dle jednotlivých postupů validace tak, aby mohl být vybrán ten nejvhodnější.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

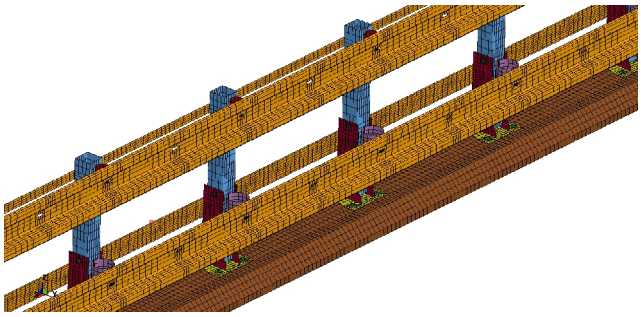
Výsledky

V rámci provedené rešerše byly shromážděny hodnotné podklady, a to především v oblasti verifikace výsledků výpočtů [1]. Bylo zjištěno, že k porovnání shody výpočtů a měření (validaci výpočtového modelu) se využívají jak deterministické, tak stochastické přístupy. Mezi nejčastěji používané deterministické přístupy patří porovnání sledovaných veličin pomocí těchto přístupů:

- Srovnáním na základě frekvenčních spekter
- Root Mean Square (RMS)
- Koficient korelace signálů
- Funkce vzdálenosti Geer MPC
- Funkce vzdálenosti Knowles
- Funkce vzdálenosti Russell
- Funkce vzdálenosti ANOVA

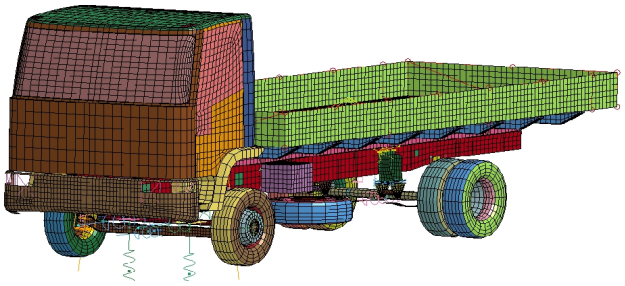
Na základě těchto hodnocení bude zvolen nejhodnější postup validace.

Dále byl vytvořen konečně prvkový model mostního zábradelního svodidla, viz obr.1.



Obr. 1 Model mostního zábradelního svodidla.

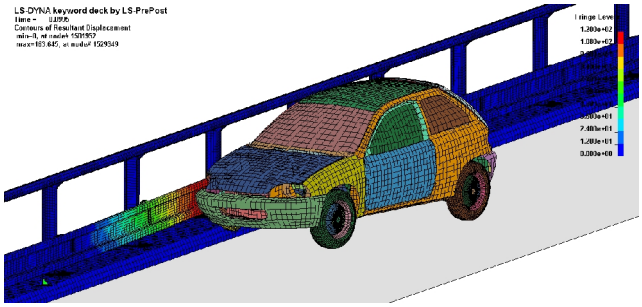
Tento model byl vytvořen dle dostupné výkresové dokumentace a správnost tohoto modelu byla následně ověřena pomocí experimentální modální analýzy. Ověření modelu bylo provedeno na základě porovnání vypočtených a naměřených vlastních frekvencí svodidlového sloupku. K porovnání vlastních frekvencí byla použita metoda MAC (modal assurance criterion), pomocí které bylo hodnoceno prvních deset vlastních frekvencí svodidlového sloupku. Tím byly stanoveny potřebné okrajové podmínky a hustota konečně prvkové sítě.



Obr. 2 Model nákladního automobilu Rigid HGV – 10 ton.

Modely automobilů (viz obr. 2) byly získány z veřejné databáze FHWA/NHTSA National crash analysis center dostupné na stránkách http://www.ncac.gwu.edu.

Dále byla provedena zjednodušená simulace nárazové zkoušky s použití modelu automobilu GEO Metro, viz obr. 3. Jedná se o model malého osobního automobilu. Výpočet byl zjednodušen tak, že pro všechny části svodidla a automobilu byl použit stejný lineární materiál. Tento výpočet sloužil k ověření, zda bude možné použít program LS-DYNA pro další výpočty a zároveň v rámci tohoto výpočtu bylo odzkoušeno nastavení jednotlivých kontaktních párů.



Obr. 3 Simulace nárazu zkoušky TB11.

V závěru této části byly stanoveny a nalezeny materiálové modely pro jednotlivé části svodidla. Pro ocelové části svodidla a automobilu byl zvolen bilineární model s Miesesovou podmínkou plasticity dostupný v základní materiálové knihovně LS-DYNA pod označením *MAT_03 [2]. Nelineární chování ŽB římsy bude popsáno materiálovým modelem PSEUDO_TENSOR pod označením *MAT_16 [2] (materiálový model vyvinutý k analýze železobetonových konstrukcí zatížených impulzivní silou).

Závěr

V průběhu práce byly shromážděny a připraveny veškeré potřebné materiály k provedení simulací nárazových zkoušek. Zároveň bylo ověřeno, že tyto výpočty bude možné provést v programu LS-DYNA. Výstupem práce jsou funkční výpočtové modely, jejichž výsledky budou v příštím roce porovnány s měřeními z jednotlivých nárazových zkoušek.

Literatura

[1] H. RAY, M., et al. Procedures for Verification and Validation of Computer Simulations Used for Roadside Safety Applications. *NCHRP Document 179* [online]. 2010.

[2] *LS-DYNA® KEYWORD USER'S MANUAL*, Version 971th ed. [CD-ROM]; Livermore software technology cor. (LSTC), March 26, 2012.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168