



Univerzita
Pardubice
Dopravní fakulta
Jana Pernera

Recenzní posudek diplomové práce

„PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU PODVOZKU ŽELEZNIČNÍHO VOZU“

Bc. Josefa BERANA

Předložená diplomová práce, která byla řešena na základě požadavku firmy LEGIOS a.s., se zabývá pevnostní analýzou rámu nákladního podvozku typu Y25 pomocí metody konečných prvků. Práce obsahuje 50 stran textu, 1 informativní výkresovou přílohu, 9 stran obrazových příloh a 1 stranu přílohy zpracované tabelárně.

Samotná práce je rozčleněna do jednotlivých kapitol respektujících vytýčené cíle.

V úvodní části (kap. 1) se autor věnuje obecně problematice zjišťování pevnosti rámu podvozků železničních vozidel. Je zde přehledně provedena rešerše předpisů, norem a vyhlášek týkajících se této oblasti, dále jsou stručně popsány způsoby ověřování pevnosti konstrukcí rámu podvozků železničních vozidel s podrobnějším zaměřením na výpočty metodou konečných prvků.

Následující část práce (kap. 2) obsahuje popis tvorby výpočtového modelu podvozku Y25 Ls1 - K, který vychází ze zadavatelem poskytnuté výkresové dokumentace. Této kapitole však měla předcházet část týkající se způsobu zatížení podvozku (uvedená až v kap. 3), který je pro tvorbu výpočtového modelu klíčový.

Autor pro vlastní výpočet metodou konečných prvků rám podvozku výrazně zjednodušil, a to tak, že ponechal pouze nosné části rámu (podélníky, čelníky a příčník) v podobě skořepinové konstrukce. Jelikož se v tomto případě jedná o svařenec z plechů o tloušťce 10÷16 mm, lze toto zjednodušení akceptovat (je však nezbytné si uvědomit některá podstatná omezení, která vyplývají právě z principu skořepinového modelu při hodnocení povrchových napětí v místech vrubů a tvarových změn konstrukce). Další, odlévané konstrukční části pevně spojené s podvozkem a přenášející zatížení na rám podvozku (kulová torna, rozsochy a závěsy brzdy) jsou z důvodu omezení výpočtového softwaru (nemožnost kombinovat plošné a objemové prvky) rovněž modelovány jako skořepiny. V tomto případě je uvedené zjednodušení diskutabilní (zejména pokud se jedná o model rozsoch, které jak známo tvoří jednu z nejkritičtějších míst celé konstrukce). Této skutečnosti si je však autor plně vědom. Zbývající konstrukční části přenášející zatížení na rám podvozku (podélné výztuhy nesoucí pákové brzdy a kluznice jsou ve výpočetním modelu uvažovány jen svými opěrnými plochami. Vzhledem ke složité konstrukci kluznic a zároveň jednoduchému způsobu přenosu sil z této součásti na rám podvozku, lze toto zjednodušení akceptovat. Pokud se jedná o podélné výztuhy, které jsou k příčníku pevně připojeny a na čelníku volně uloženy, opět je zde zjednodušení náhradou pouze opěrných ploch tohoto konstrukčního prvku námětem do diskuze, avšak modelování spojení dvojice podélných výztuh s čelníkem by bylo z hlediska výpočtu v rámci celé konstrukce rámu podvozku značně komplikované a zřejmě by ani nemělo významný vliv na výsledky výpočtu.

Tvorba sítě konečných prvků vychází z rozboru závislosti velikosti napětí ve stanovených místech na hustotě sítě. Zde je autor omezen navíc i hardwarově, tudíž v konečném důsledku použije nejjemnější síť, pro kterou z hlediska svých možností je schopen výpočet provést. V práci však není uvedeno, která místa na podvozku byla v tomto rozboru zohledněna. A vzhledem k tomu, že místo bez koncentrace napětí (označeno jako M2) v provedeném rozboru nevykazuje velkou změnu hodnoty napětí v závislosti na hustotě sítě, nabízí se zde otázka, proč autor nepoužil větší prvky v kombinaci s lokálním zjemněním sítě v místech koncentrace napětí. Dále se nedomnívám, že použitá síť je co do počtu prvků/uzlů na mezi hardwarových možností současných i nevypočítaných počítačových stanic střední třídy.

Jako poslední fáze sestavení výpočetního modelu je v práci uvedeno určení způsobu zatížení modelu a nastavení okrajových podmínek. Z hlediska metodiky sestavení výpočetního modelu však tato fáze vždy předchází tvorbu sítě, jelikož struktura sítě je závislá na způsobu zatížení. Autor se v této kapitole navíc odkazuje na informace uvedené až v kapitolách následujících (konkrétně se jedná se o obr. 12, kde jsou již zakresleny působící síly). Toto je však důsledkem již zmíněné skutečnosti, že autor zařadil kapitolu popisující způsob zatížení až za tvorbu výpočetního modelu. Pro zatížení je zde použit poněkud zvláštní pojem „vnášení sil“ (nutno však poznamenat, že tento výraz se však občas v literatuře zabývající se pevnostními výpočty metodou konečných prvků vykytuje).

Třetí kapitola této diplomové práce nesoucí název „pevnostní výpočet“ se zabývá způsobem zatížení, který vychází z požadavků TSI. Zde nemůže být pochyb o správnosti zvolené metody, jelikož TSI dnes tvoří soubor závazných předpisů pro železniční vozidla pohybující se na tratích střední a západní Evropy. Mimo skutečnost, že tato kapitola, jak už bylo výše uvedeno, měla předcházet popisu tvorby modelu, zde autor až příliš stručně popsal způsob zatížení. V práci jsou pouze odcitovány vybrané části TSI, podle jejíž metodiky je sestavena tabulka zatěžovacích stavů. Tato tabulka je však velmi nepřehledná, zejména z toho důvodu, že některé z uvedených hodnot nelze na základě předchozích autorem provedených výpočtů bez znalosti metodiky TSI dohledat. Dále v této části práce postrádám popis jednotlivých zatěžovacích stavů s odkazem na provozní podmínky.

Předposlední částí práce (kap. 4) je vyhodnocení výsledků, které je provedeno podle běžně používaných postupů, a to jak na statickou pevnost, tak i na únavovou pevnost. Součástí vyhodnocení je rovněž stanovení tuhosti rámu podvozku za účelem zjišťování jeho možných provozních poloh. K této části práce mám jednu zásadní připomínku týkající se hodnocení napětí v místech vrubů a tvarových změn konstrukce. Při použití skořepinového modelu lze totiž získat pouze skořepinová napětí, tedy kombinaci primárních lokálních membránových napětí a sekundárních ohybových napětí. Napětí má vždy v průřezu prvku o dané tloušťce lineární průběh, čímž při použití skořepinových prvků není možné přímo z výpočtu metodou konečných prvků získat odpovídající hodnotu napětí na povrchu konstrukce v místě vrubu či tvarové změny. Zohlednil autor nějakým způsobem při hodnocení napětí tuto skutečnost?

V části této kapitoly týkající se hodnocení statické pevnosti autor k překročenému napětí ve spoji mezi výtuhou příčnicku a podélníkem uvádí, že se jedná o lokální extrém, který na skutečné

konstrukci nedosáhne tak vysokých hodnot. S tímto tvrzením nemohu souhlasit a domnívám se, že naopak ve skutečnosti bude v tomto místě napětí mnohem vyšší (jedná se o místo s koncentrací napětí). Dále u hodnocení statické pevnosti není z obr. 20 (místo pod úložnou plochou zatížené kluznice) patrné o jakou část podvozku se jedná – jde skutečně o správné vyobrazení? V komentáři k překročení dovolené hodnoty napětí v místě spoje mezi závěskou brzdy a čelníkem je doslova uvedeno „*Odůvodnění je zde stejné jako při hodnocení tohoto místa na únavu*“. Uvedené místo je však z neznámých důvodů z hodnocení konstrukce na únavovou pevnost vyjmuto.

Při hodnocení konstrukce na únavovou pevnost autor vybral sedm kritických míst nacházejících se ve svarech mezi jednotlivými plechy rámu podvozku. Vzhledem k tomu, že se jedná jen o vybraná kritická místa svarů, postrádám zde zdůvodnění tohoto výběru. Navíc vybrané místo č. 7 (spojení mezi závěskou brzdy a čelníkem) není, jak již bylo výše uvedeno, z neznámých důvodů do hodnocení zahrnuto.

Poslední částí práce je porovnání výsledků provedených výpočtů s experimentálně získanými výsledky tenzometrického měření. Ze čtyř vybraných míst má však význam hodnotit pouze dvě, jelikož u dalších dvou zbývajících míst neodpovídá reálná konstrukce modelu. Diskutabilní je rovněž porovnání výsledku výpočtu s výsledky měření v místě, kde dochází k výrazným změnám průběhu napětí. Potvrzení vhodnosti výpočetního modelu je tedy omezeno pouze na dvě porovnávací místa, u nichž navíc lze těžko s dostatečnou přesností získat hodnoty napětí experimentálně.

Předložená diplomová práce splňuje všechny body zadání a je zpracována na dostatečné odborné úrovni. Negativně však musím hodnotit značné množství překlepů, dále schématické obrázky, některé tabulky a grafy, jež nejsou zpracovány na úrovni odpovídající současným typografickým možnostem. Jednotlivé kapitoly práce mohly být lépe uspořádány (viz výše uvedené připomínky ke sledu vybraných kapitol a jejich částí). Autor se až zbytečně podrobně věnoval v práci tvorbě výpočtového modelu (v některých případech popisuje jednotlivé fáze tvorby modelu, které jsou však závislé na použitém softwaru), zatímco způsob zatížení je popsán nedostatečně. I přes všechny uvedené výhrady se domnívám, že diplomant prokázal na dostatečné úrovni schopnost řešit náročnější technický úkol.

Předloženou diplomovou práci proto doporučuji k obhajobě a hodnotím známkou:

Velmi dobře minus

Dále žádám, aby diplomant při obhajobě reagoval na jednotlivé výše uvedené připomínky.



Ing. Aleš HÁBA, Ph.D.