

VÝVOJ AUTOMATIZOVANÉHO ON-LINE SYSTÉMU VYHODNOCOVANIA ŽIVOTNOSTI KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED ON-LINE SYSTEM FOR A RAIL CARS DURABILITY EVALUATION

Peter BIGOŠ, Ondrej TANYASI¹

Abstrakt

Na základe dlhodobého sledovania konštrukcie počas prevádzky je možné určiť zvyškovú životnosť. Podrobnou analýzou výstupov monitorovania získame presné informácie o účinkoch jednotlivých zaťažení. Pre monitorovanie a vyhodnocovanie údajov je výhodné vyvinúť automatizovaný on-line systém. Dlhodobé tenzometrické meranie sa stane pomocou on-line systému vyhodnocovania meraných veličín efektívnejšie. Množstvo nameraných dát sa pri on-line vyhodnocovaní radikálne zníži.

Kľúčové slová: životnosť, koľajové vozidlo, vyhodnocovanie.

Abstract

On the basis of long-term construction surveillance during its operation it can be determined remaining life. By means of a detailed analysis of monitored results it is possible to obtain exact information about effects of individual loadings. For monitoring and evaluation of observed data it is advantageous to develop an automated on-line system. Long-term strain gauging will be more effective by means of on-line evaluation system for measured parameters. Amount of measured data will be radically decreased in the case of on-line evaluation application.

Keywords: durability, rail car, evaluation.

ÚVOD

Pre dosiahnutie cieľa vyvinúť „Automatizovaný ON-LINE systém vyhodnocovania životnosti koľajových vozidiel“ je potreba výberu vhodného umiestnenia sledovacieho hardwaru (čierna skrinka). Výber sa môže uskutočniť pevnostnou analýzou, experimentálnou analýzou a rozborom porúch. V tomto príspevku je prezentovaný výber vhodného umiestnenia sledovacieho systému pevnostnou analýzou koľajového vozidla použitím MKP. V príspevku je prezentovaná pevnostná analýza vykonaná použitím softwaru MARC. Objektom skúmania je štvornápravový plošinový vozeň RILNSS vyrábaný v Tatravagónke a. s., Poprad. Pevnostná analýza je vykonaná podľa podmienok, ktoré sú predpísané v správe European Rail Research Institute B12/RP17, 8. vydanie z roku 1996 [1].

PEVNOSTNÁ ANALÝZA RÁMU VOZŇA RILNSS TYP 9-241.0

Model vagóna je vytvorený v súlade s výkresovou dokumentáciou TATRAVAGÓNKA a.s. Poprad a pre pevnostnú analýzu kostry spodku vozňa bol použitý výpočtový SOFTWARE systém *MARC*.

¹ prof. Ing. Peter BIGOŠ, CSc., Ing. Ondrej TONYASI, KDZaL, Sjf TU v Košiciach, peter.bigos@tuke.sk, ondrej.tanyasi@tuke.sk

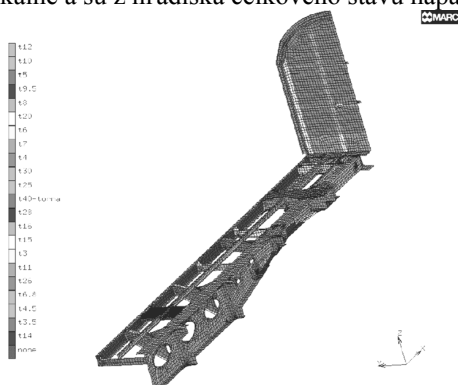
Lektoroval: prof. Ing. Miroslav KOPECKÝ, PhD., FPT Púchov, TrN AD Trenčín, mirkopecky@inmail.sk

Základný popis modelu, zjednodušenia

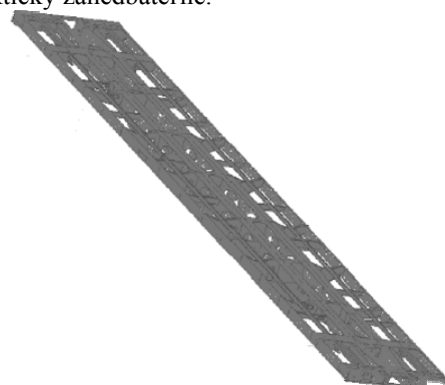
Pre výpočet analyzovanej konštrukcie vozňa Rilnss metódou konečných prvkov je vytvorená sieť konečných prvkov, ktorá leží v rovinách strednicových plôch jednotlivých častí analyzovanej konštrukcie. Z dôvodu symetrie vozňa k jeho pozdĺžnej a priečnej osi sú výpočty vykonávané na modeli 1/4 vozňa s využitím symetrických okrajových podmienok pre zvislé prevádzkové zaťaženia (označ.Z1-Z9), pozdĺžne výnimočné zaťaženia (označ.P1-P4) a vybrané kombinácie zvislých a pozdĺžnych zaťažení (obr.1). Okrajové podmienky sú modelované ako symetrické v rovine pozdĺžnej a priečnej osi ako aj podopretie v mieste torny vozňa. Pre uhlopriečne zaťaženie (označ.P5) je použitý model celej analyzovanej konštrukcie podľa obr.2. V tomto modeli nie sú využité princípy symetrie.

Rozmery modelu siete konečných prvkov sú v mierke 1:1 k rozmerom analyzovanej konštrukcie. Použité sú štvoruholníkové „shell“ elementy s maximálnou veľkosťou $40 \cdot 10^{-3}$ [m].

Menované zaťaženia sú simulované v súlade so správou ERRI B12/RP17 [1]. Analýza je vykonaná v lineárnej oblasti. Skreslenia výsledkov analýzy dôsledkom uvedených zjednodušení sú lokálne a sú z hľadiska celkového stavu napätosti prakticky zanedbateľné.



Obr.1 Model 1/4 vozňa pre zvislé, pozdĺžne a ich vybrané kombinácie zaťaženia



Obr.2 Model vozňa pre uhlopriečne zaťaženie

Materiál

Modelované časti vozňa sú navrhnuté z konštrukčnej ocele S355J2G3, EN 10025 podľa tab.1.

Materiálové vlastnosti S355J2G3, EN 10025

Tabuľka 1

Hrúbka plechu [m]	Min. medza klzu [MPa]	Min. pevnosť v ťahu [MPa]
$(3 - 16) \cdot 10^{-3}$	355	490
$(16 - 40) \cdot 10^{-3}$	345	490

Tento materiál je využívaný ako lineárne elastický a izotropný. Ďalšie vlastnosti tejto konštrukčnej ocele sú:

- Youngov modul pružnosti $E = 210\,000$ [Mpa]
- Poissonovo číslo $\mu = 0,3$

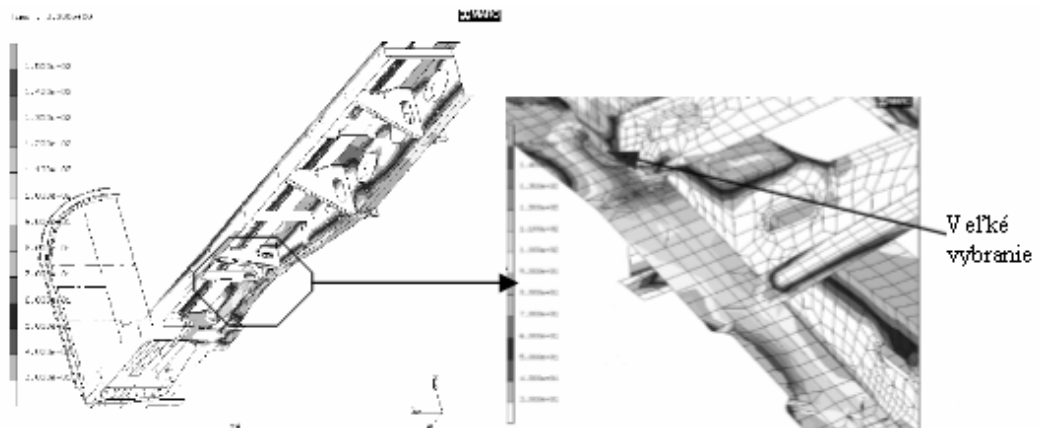
Geometria

Pre vytvorenie geometrie sú použité štvoruholové „Thick shell“ elementy č.75 v software MARC [2]. Týmto elementom je priradená hrúbka podľa menovitých hrúbok uvedených vo výkresovej dokumentácii vozňa Rilnss pre AAE typ 9-241.0, sú znázornené aj napríklad na obr.1.

Vyhodnotenie výsledkov

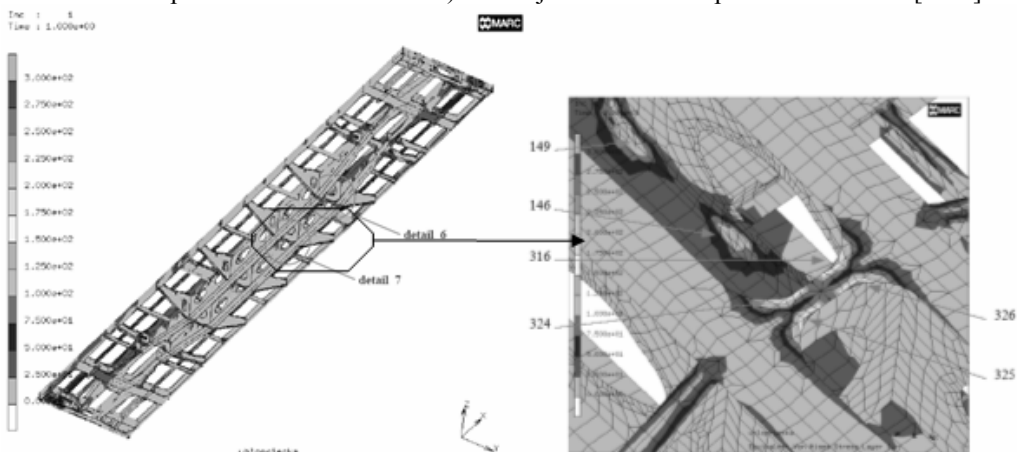
Pre všetky zaťažujúce stavy Z1-Z9, P1-P5 a ich určené kombinácie sú k dispozícii výstupy z MKP v grafickej podobe na cca. 420 obrázkoch. Súčasťou pevnostnej analýzy kostry spodku vozňa sú aj tabuľkové vyhodnotenie ekvivalentných napätí podľa Missesovej hypotézy pre všetky zvislé prevádzkové zaťaženia, pozdĺžne výnimočné zaťaženia a ich vybrané kombinácie.

Z daného vyhodnotenia kritickým miestom s najväčším napätím sa prejavuje veľké vybranie nachádzajúce sa na spodnej pásnici zobrazené na obr.3. Vo veľkom vybraní pri zvislom prevádzkovom zaťažení Z4 (zvislé zaťaženie spojité, 57.10^3 kg na dĺžke 15m symetricky k priečnej osi (y); ložná šírka 1,2m - zaťaženie je modelované ako spojité hranové v mieste stojiny chrbtíčníka) dosahuje maximálne napätie hodnotu 248 [MPa] a pri zvislom prevádzkovom zaťažení Z8 (zvislé zaťaženie na 2 podperách, 53.10^3 kg na dĺžke 9m symetricky k priečnej osi (y); ložná šírka 1,2m - zaťaženie je modelované ako uzlové v mieste stojiny chrbtíčníka) dosahuje hodnotu 252 [MPa].



Obr. 3 Miesto z najväčším napätím na spodnej pásnici – veľké vybranie

Ďalším kritickým miestom z najväčším napätím je spojovací priečnik prvý v smere od priečnej osi vozňa (obr.4). V spojovacom priečniku pri pozdĺžnom výnimočnom zaťažení P5 (statické uhlopriečne zaťaženie tlakom 0,4 MN pôsobiace na nárazník v jeho osi - zaťaženie je modelované ako plošné v mieste nárazníka) dosahuje maximálne napätie hodnotu 326 [MPa].



Obr.4 Miesto z najväčším napätím na spodnej pásnici – spojovací priečnik (medzipriečnik)

TECHNICKÉ RIEŠENIE MERACIEHO A VYHODNOCOVACIEHO SYSTÉMU

V tejto etape riešenia zariadenia pre on-line sledovanie zaťaženia elementov koľajových vozidiel sa vytvorili podmienky a vybrali základné princípy pre riešenie a návrh zariadenia.

V nasledujúcej etape sa vykoná detailný návrh a výroba tenzometrických zosilňovačov so striedavým zdrojom signálu pre napájanie tenzometrických mostíkov, A/Č prevodníkom pre vzorkovanie, digitalizáciu signálov a komunikačným rozhraním pre mikropočítačovú jednotku pre zber a prvotnú filtráciu údajov. Podľa navrhovaných algoritmov pre off-line vyhodnocovanie sa vytvorí programové vybavenie pre osobný počítač. Zariadenie bude namontované na vybrané koľajové vozidlo a bude zbierať údaje počas prevádzky.

Požiadavky na technické riešenie

Merací a vyhodnocovací systém pre zber a spracovanie údajov je určený pre meranie, zber a archiváciu fyzikálnych veličín namáhání vybraných súčasti pojazďových koľajových mechanizmov.

Pozostáva z dvoch základných častí:

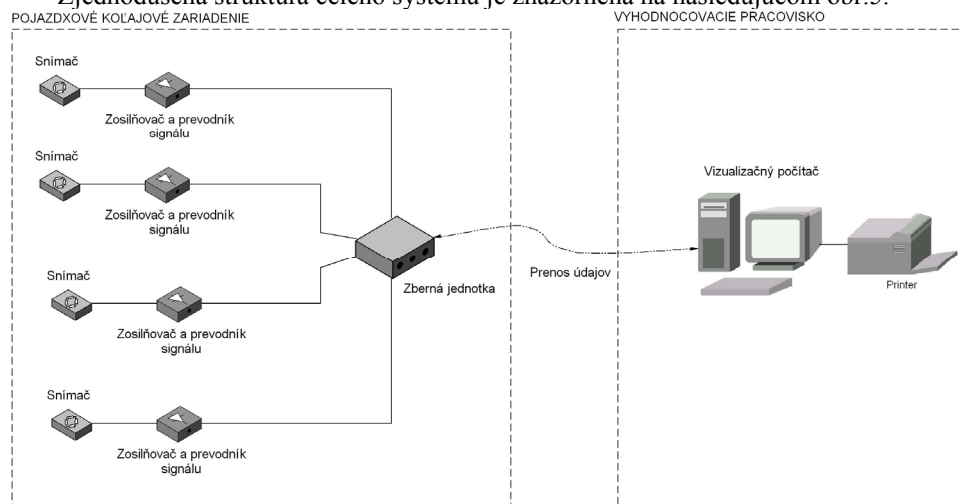
- meracej a zbernej jednotky,
- vizualizačného počítača.

Meracia a zberná jednotka je určená pre namontovanie na vybrané miesta konštrukcie pojazďových mechanizmov. Jej účelom je on-line meranie a sledovanie vybraných parametrov namáhania, ich spracovanie v reálnom čase a archiváciu pre následný prenos do vizualizačného počítača a vyhodnocovanie.

Táto jednotka obsahuje:

- 4 miesta merania pomocou tenzometrických snímačov (zapojených do pol-alebo celého mostíka),
- 4 bloky tenzometrických zosilňovačov a analogovo-číslicových prevodníkov,
- blok mikropočítača pre on-line spracovanie, archiváciu a prenos údajov,
- blok napájania,
- napájacie a prenosové vedenia.

Zjednodušená štruktúra celého systému je znázornená na nasledujúcom obr.5.



Obr.5 Štruktúra systému pre zber a spracovanie údajov

Vzhľadom na to, že zariadenie bude montované na mobilné zariadenia, musí mať malé rozmery a byť schopné dlhodobo autonómne fungovať bez vonkajšieho prívodu elektrickej energie.

Konštrukčne musí byť vyrobené tak, aby pri dlhodobom používaní nemohlo dôjsť k jeho poškodeniu, musí odolávať otrasom, tvrdému zaobchádzaniu nepriaznivým vplyvom okolitého prostredia a počasia v každom ročnom období. (bude riešené v 2 etape).

Namerané a predspracované údaje za určité časové obdobie sa musia dať jednoducho a rýchlo preniesť do vizualizačného počítača.

Vizualizačný počítač slúži pre off-line spracovanie nazbieraných údajov zo zbernej jednotky. Jeho aplikačné programové vybavenie musí pracovať pod operačným systémom Windows XP a umožňovať porovnávanie, štatistické vyhodnocovanie, vizualizáciu, generovanie tlačových zostáv a archiváciu výsledkov meraní a štatistík v jednoduchej databáze.

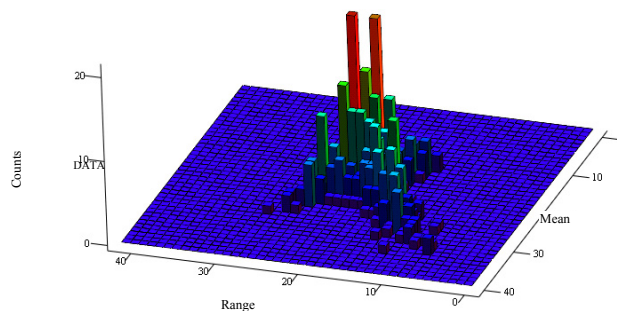
KONCEPCIA RIEŠENIA

Kritickým vstupom pre hodnotenie životnosti pojazďových elementov koľajových vozidiel je história prevádzkového zaťaženia, ktorá je zvyčajne definovaná rainflow maticou. Môže byť získaná analyticky, experimentálne alebo numericky, napríklad s použitím MSS (mechanism system simulation - simulácia mechanických systémov). Pre určovanie zvyškovej životnosti je dôležité dlhodobé sledovanie, pretože umožňuje monitorovanie konštrukcie počas celej doby prevádzky, takže máme presné informácie o účinkoch jednotlivých zaťažení.

Základný princíp spracovania údajov

Pre dlhodobé tenzometrické meranie je dôležité on-line spracovanie prevádzkového zaťaženia. Hlavným dôvodom je množstvo nameraných dát ktoré môže byť radikálne znížené dekompozíciou s použitím rôznych metód (napríklad rainflow).

Rainflow matica môže byť použitá ako priamy vstup pre množstvo komerčných programov (napr. MSC.Fatigue, LMS Falancs, WinLIFE, Ansys WBE, ...) umožňujúcich výpočet únavovej životnosti alebo môže byť transformovaná na zaťažovacie bloky. Získaná rainflow matica je dvojparametrická, takže obsahuje okrem amplitúdy aj strednú hodnotu napätí resp. pomerných deformácií.



Obr.6 Rainflow matica (rmcmat) - 3D diagram

ZÁVER

Pevnostnou analýzou a analýzou poruchovosti sa tvoria predpoklady k výberu najvhodnejšieho miesta pre budúce ON-LINE sledovanie zaťaženia. Uskutočnenými analýzami sa dokázalo, že najvhodnejšími miestami sú medzipriečniky (obr.4), ktoré budú vybavené snímačmi. Samotná hardwarová jednotka pre sledovanie a vyhodnocovanie zaťaženia bude umiestnená v blízkosti niektorých snímačov s ohľadom na jej rozmery a ochranu proti poškodeniu. Doterajšie výsledky riešenia úlohy dávajú predpoklady, že sledovacia hardwarová jednotka zároveň umožní identifikovať v čase prevádzky koľajového vozidla neprimerané hodnoty prevádzkových zaťažení a tým analyzovať aj dôsledky napríklad od nesprávneho uloženia nákladu. V budúcnosti sa na základe on-line sledovania bude môcť, okrem hodnotenia životnosti, zamedzovať nedodržovaniu podmienok zaťažovania a brániť vzniku porúch.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a výskumu na základe zmluvy č. APVT – 20 – 016004.

LITERATÚRA

- [1] European Rail Research Institute: Report B12 /RP 17, 8.version
- [2] Manuály k softw. Marc Analysis Research Corporation 1997
- [3] TREBUŇA, F., BIGOŠ, P.: *Intenzifikácia technickej spôsobilosti ťažkých nosných konštrukcií*. Viena, Košice, 1997, 345 str., ISBN 80-967325-3-6.
- [4] MAŠÍN, A.: *Poruchovosť ocelových častí v železničnom provozu*. Nadas, Praha, 1982, 296 str., OD 31-025-82-05-5
- [5] VLK, M., a kol.: *Experimentální mechanika*. Brno, 2003
- [6] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: Firemná literatúra.
- [7] HOFFMAN, K.: *Applying the Whetstone Bridge Circuit*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
- [8] RUSYŇIAK, M., SUPEK, B.: *Pevnostná analýza kostry spodku vozňa Rilnss pre AAE*
- [9] Vyhlášky UIC 432, UIC 510-3, UIC 518, UIC 577