Experimentální Analýza Napětí 2007

WAGON STRESS ANALYSIS FOR ON-LINE MONITORING AND PROCESSING OF LOADING FOR DURABILITY APPLICATIONS

NAPÄŤOVÁ ANALÝZA ŽELEZNIČNÉHO VAGÓNA ZA ÚČELOM ON-LINE SNÍMANIA A SPRACOVANIA NAMÁHANIA PRE ŽIVOTNOSTNÉ APLIKÁCIE

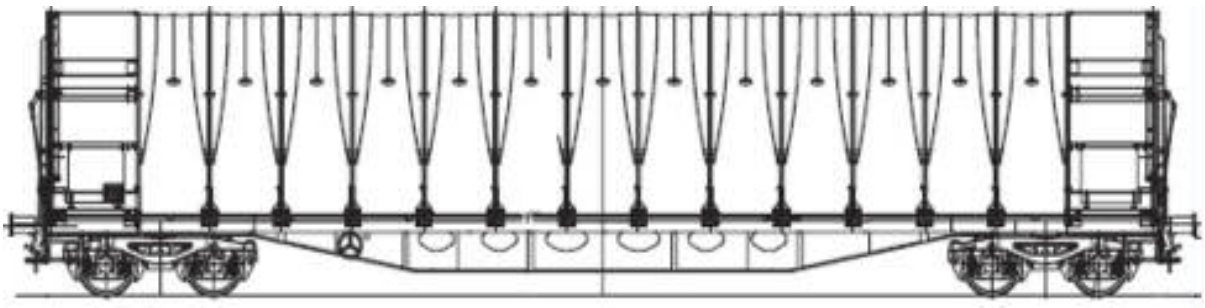
Peter BIGOŠ,[1] Ondrej TANYASI[2]

Abstract: *In this article there is presented an analysis of four-axle roller – shutter roof wagon Rilnss manufactured in the company Tatravagonka a.s., Poprad. The analysed object was chosen for application of an on-line automated system for durability evaluation. On the basis of analysis results it is possible to locate points for the system application on the wagon frame. The wagon frame stress analysis was performed with the aid of the "Finite Element Method". It was used the MARC software. Results of stress analysis were compared with results of experimental analysis and operation failure analysis.*

Keywords *shutter roof wagon, on-line automated system, durability evaluation, wagon frame, stress analysis*

1. Úvod

Pred aplikáciou on-line automatizovaného systému pre vyhodnocovanie životnosti bolo potrebné lokalizovať konštrukčnú časť vybraného objektu, ktorá by bolo vhodná pre sledovanie životnosti. Objektom skúmania bol štvornápravový plošinový vozeň RILNSS vyvinutý a vyrábaný v Tatravagónke a. s., Poprad (obr.1).



Obr. 1. Vozeň Rilnss typ 9-241.0

V rámci riešenia projektu APVT– 20–016004 „Automatizovaný on-line systém vyhodnocovania životnosti pojazdových elementov koľajových vozidiel" bolo potrebné vykonať pevnostnú analýzu koľajového vozidla pomocou numerických metód a vyhodnotiť výstupy z tejto analýzy. Podmienky pevnostnej analýzy koľajového vozidla vychádzali zo správy European Rail Research Institute B12/RP 17, 8. vydanie z roku 1996 [4]. Pevnostná

[1] prof. Ing. Peter BIGOŠ,CSc., Katedra konštruovania, dopravy a logistika,, Letná 9, 041 87 Košice, tel.: 055 602 2514, e-mail: peter.bigos@tuke.sk

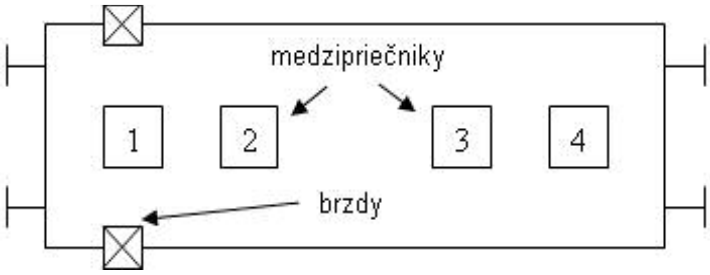
[2] Ing. Ondrej TANYASI, Katedra konštruovania, dopravy a logistika, Letná 9, 041 87 Košice, tel.: 055 602 2355, e-mail: ondrej.tanyasi@tuke.sk

analýza bola vykonaná pomocou softwaru MARC. Výstupy z pevnostnej analýzy sa porovnávali z výstupmi z experimentálnej analýzy a analýzy poruchovosti. Na základe získaných údajov bolo možné stanoviť kritické miesta prierezov oceľovej konštrukcie a mechanizmov podvozkov ako pre zber údajov o poruchovosti, tak aj pre on-line sledovanie prevádzkového namáhania a vyhodnocovania životnosti.

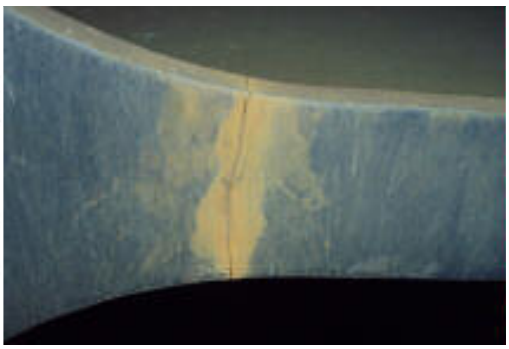
2. Analýza rámu vozňa Rilnss a určenie miesta aplikácie systému

Počiatočným faktorom lokalizujúcim miesto aplikácie systému je analýza poruchovosti. Hlavnou informáciou pre rozbor poruchovosti je zber dát z prevádzok sledovaných koľajových vozidiel Rilnss typu 9-241.0. Tatravagónka a.s., Poprad zabezpečila spätné informácie o poruchovosti 120 kusov vozňov Rilnss, ktorých užívateľmi sú firmy Green Cargo a SSAB vo Švédsku.

Najzávažnejšou a často opakujúcou poruchou sú trhliny na medzipriečnikoch. Na vozni sú štyri medzipriečniky a nachádzajú sa symetricky podľa priečnej osi kostry spodku vozňa medzi spodnými pásnicami chrbtičníkov. Polohy medzipriečnikov na vozni sú schematicky znázornené na obr. 2.



Obr.2. Schematické znázornenie medzipriečnikov na menovanom vozni



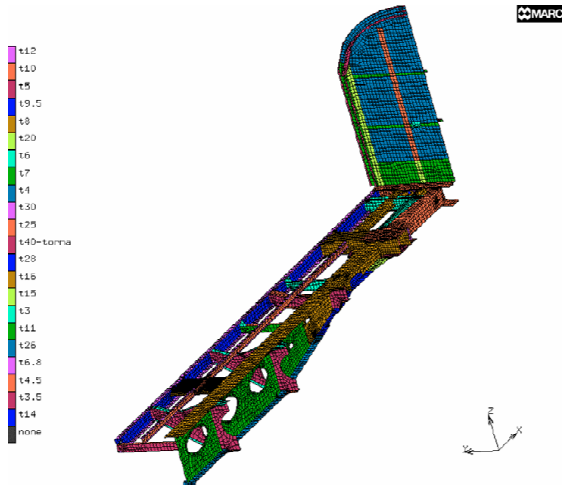
Obr.3.Fotodokumentácia prasknutej výstuhy – medzipriečnik

Rozbor poruchovosti dokázal cca. 40% pravdepodobnosť vzniku poruchy za pomerne krátke sledované obdobie. Zo 120 kusov vozňov sa na 32 vozňoch v priebehu dvoch rokov objavili trhliny na medzipriečnikoch (obr.3). Najčastejšie porušený medzipriečnik je podľa obr.2 v mieste 2. [1]

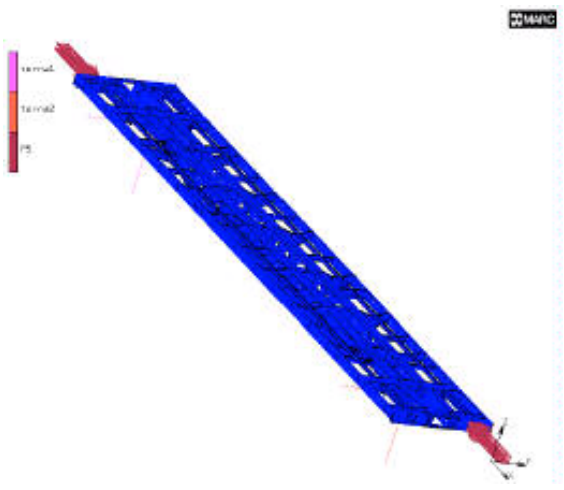
Výsledky z pevnostnej analýzy boli vyhodnotené v náväznosti na analýzu poruchovosti. Pevnostná analýza kostry spodku vozňa bola vykonaná pomocou výpočtového softwaru *MARC*. Podmienky pevnostnej analýzy koľajových vozidiel vychádzajú z predpisov uvedených v správe*European Rail Research Institute B12/RP 17, 8. vydanie z roku 1996* [4].

Pre výpočet analyzovanej konštrukcie vozňa Rilnss metódou konečných prvkov je vytvorená sieť konečných prvkov, ktorá leží v rovinách strednicových plôch jednotlivých častí analyzovanej konštrukcie. Rozmery modelu siete konečných prvkov sú v mierke 1:1 k rozmerom analyzovanej konštrukcie. Použité sú štvoruholníkové „shell“ elementy s maximálnou veľkosťou 40.10^{-3} [m] [5]. Analýza je vykonaná v lineárnej oblasti.

Pri využití symetrie vozňa k jeho pozdĺžnej a priečnej osi bol vytvorený ¼ výpočtový model, na ktorý postupne pôsobilo s použitím symetrických okrajových podmienok deväť zvislých prevádzkových zaťažovacích stavov (označ.Z1-Z9), štyri pozdĺžne výnimočné zaťažovacie stavy (označ.P1-P4) a niekoľko vybraných kombinácii z menovaných zaťažovacích stavov (obr.4). Pre uhlopriečny zaťažovací stav (označ.P5) bol použitý model bez využitia symetrie podľa obr. 5. [6]

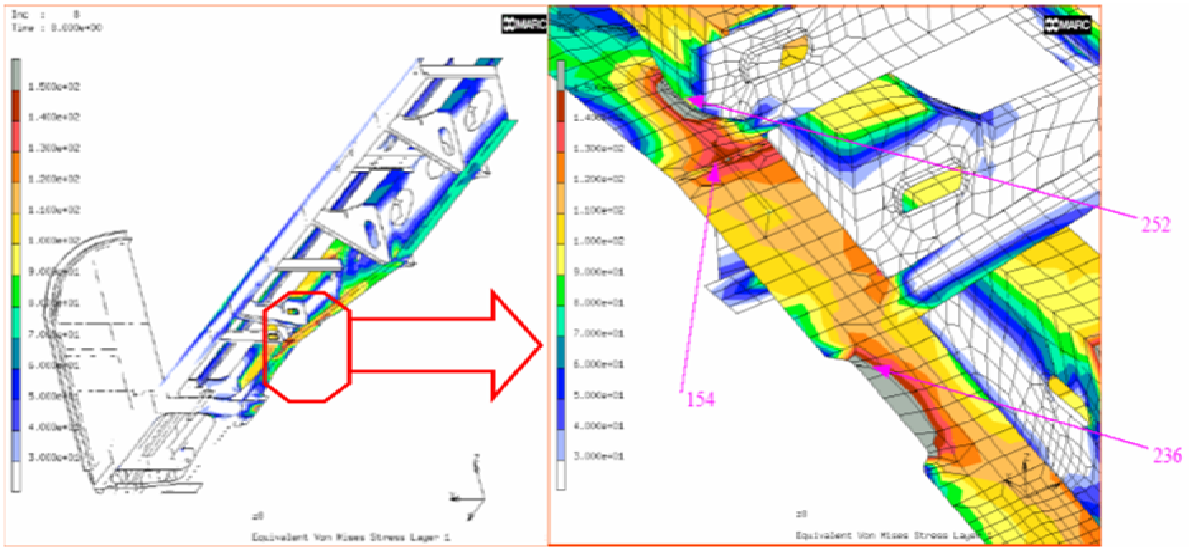


Obr. 4. Model ¼ vozňa pre zvislé, pozdĺžne zaťažovacie stavy a ich vybrané kombinácie



Obr. 5. Model vozňa pre uhlopriečny zaťažovací stav

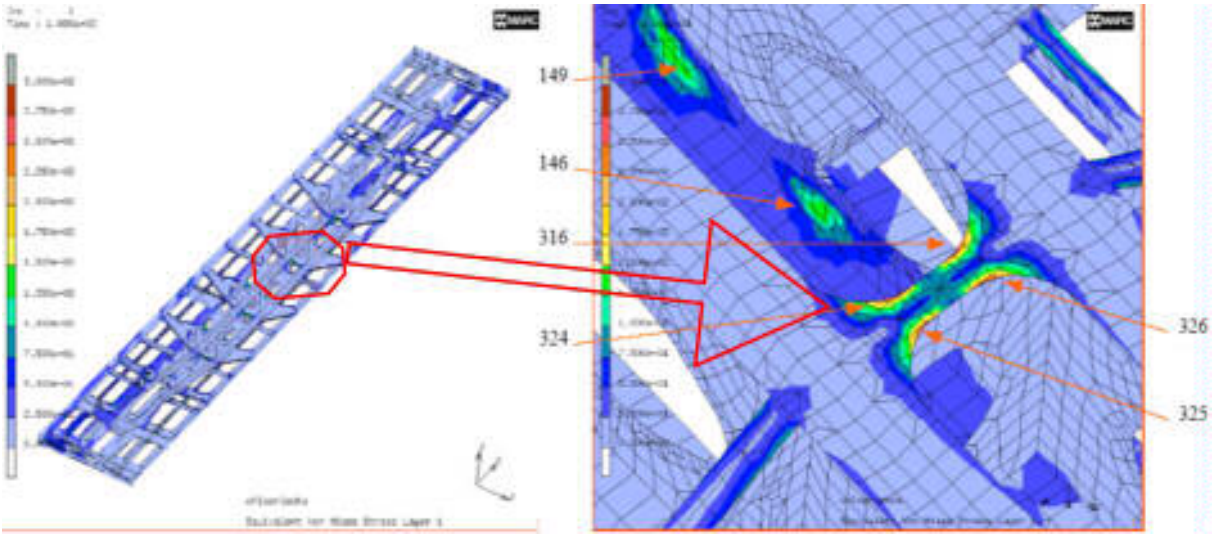
Výstupmi z *MKP* sú vyhodnotené ekvivalentné napätia podľa Missesovej hypotézy v grafickej a tabuľkovej forme. Z daného vyhodnotenia kritickým miestom s najväčším napätím sa prejavuje veľké vybranie nachádzajúce sa na spodnej pásnici chrbtičníka zobrazené na obr.6. Vo veľkom vybraní pri zvislom prevádzkovom zaťažení *Z4* (zvislé zaťaženie je 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 chrbtičníka) 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 chrbtičníka) dosahuje hodnotu *252 MPa.*



Obr. 6. Miesto s najväčším napätím na spodnej pásnici chrbtičníka – veľké vybranie

Ďalším kritickým miestom s vysokým napätím je spojovací priečnik ako prvý v smere od priečnej osi vozňa (obr.7). Priečniky sú štyri a nachádzajú sa symetricky podľa priečnej osi kostry spodku vozňa medzi spodnými pásnicami chrbtičníkov. 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.* [2]



Obr. 7. Medzipriečnik s najväčším napätím

Údaje z experimentálnej analýzy potvrdili závery získané z rozboru poruchovosti a pevnostnej analýzy. Tenzometrické merania na vozni boli vykonané pri statickom a dynamickom namáhaní. Typy jednotlivých meraní a špeciálne podmienky dodržané počas merania sú predpísané v [4].

Na základe vyhodnotenia údajov získaných z pevnostnej analýzy, experimentálnej analýzy (statické a dynamické tenzometrické merania) a rozboru porúch sa vybralo miesto aplikácie on-line systému - medzipriečnik číslo *2* z *obr.2*, ktorý bude vybavený snímačmi. Samotná hardwarová jednotka pre sledovanie a vyhodnocovanie zaťaženia bude umiestnená v blízkosti snímača s ohľadom na jej rozmery a ochranu proti poškodeniu (obr.8).



Obr. 8. Pohľad medzi dva chrbtičníky vagóna s názorným zobrazením predbežnej polohy umiestnenia sledovacej jednotky pri inkriminovanom medzipriečniku

3. Základná koncepcia riešenia

Kritickým vstupom pre hodnotenie životnosti pojazdových 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). Dlhodobé sledovanie je dôležité pre určovanie zvyškovej životnosti, pretože umožňuje monitorovanie konštrukcie počas celej doby prevádzky, takže máme presné informácie o účinkoch jednotlivých zaťažení [7].

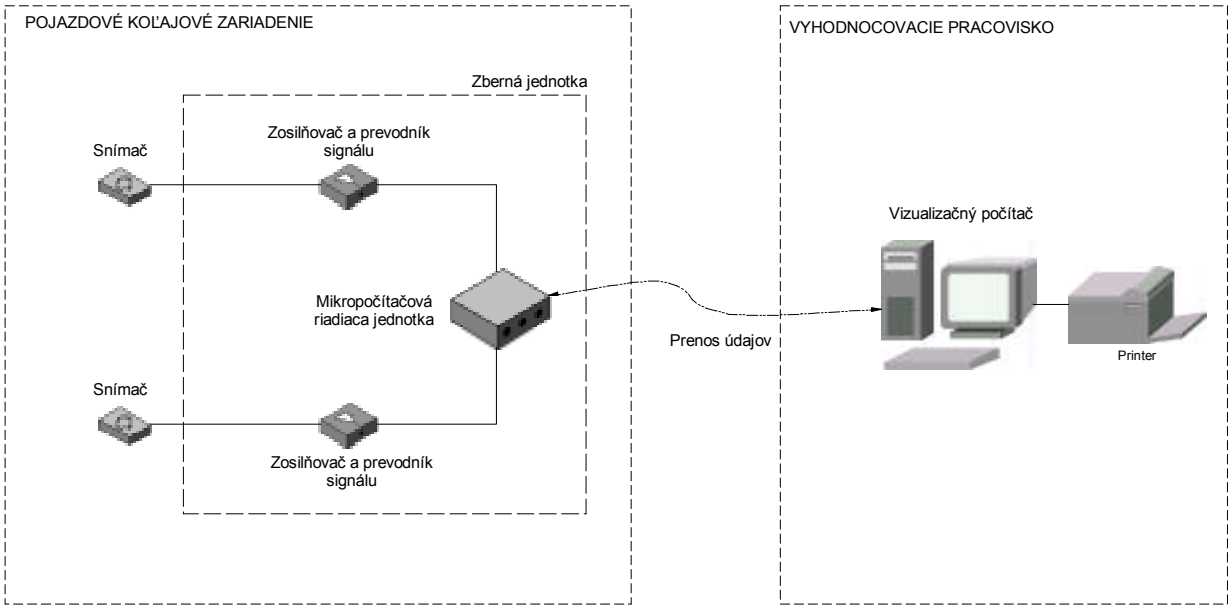
On-line spracovanie dát dlhodobého merania je dôležité z niekoľkých dôvodov. Hlavným dôvodom je množstvo nameraných dát ktoré môže byť radikálne znížené dekompozíciou s použitím rôznych metód (napríklad rainflow). Okrem toho je pri použití štandardnej metódy potrebná tenzometrická aparatúra a PC počas celej doby prevádzky.

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. Základná koncepcia meracieho a vyhodnocovacieho zariadenia je znázornená na obr. 9.

Systém pozostáva z dvoch základných častí:

1.Meracia a zberná jednotka sa namontuje na vybrané miesta konštrukcie koľajových mechanizmov. Jej účelom je on-line meranie a sledovanie vybraných parametrov namáhania, ich spracovanie v reálnom čase a archivácia pre následný prenos do vizualizačného počítača a vyhodnotenie.

2.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.



Obr. 9. Základná štruktúra systém

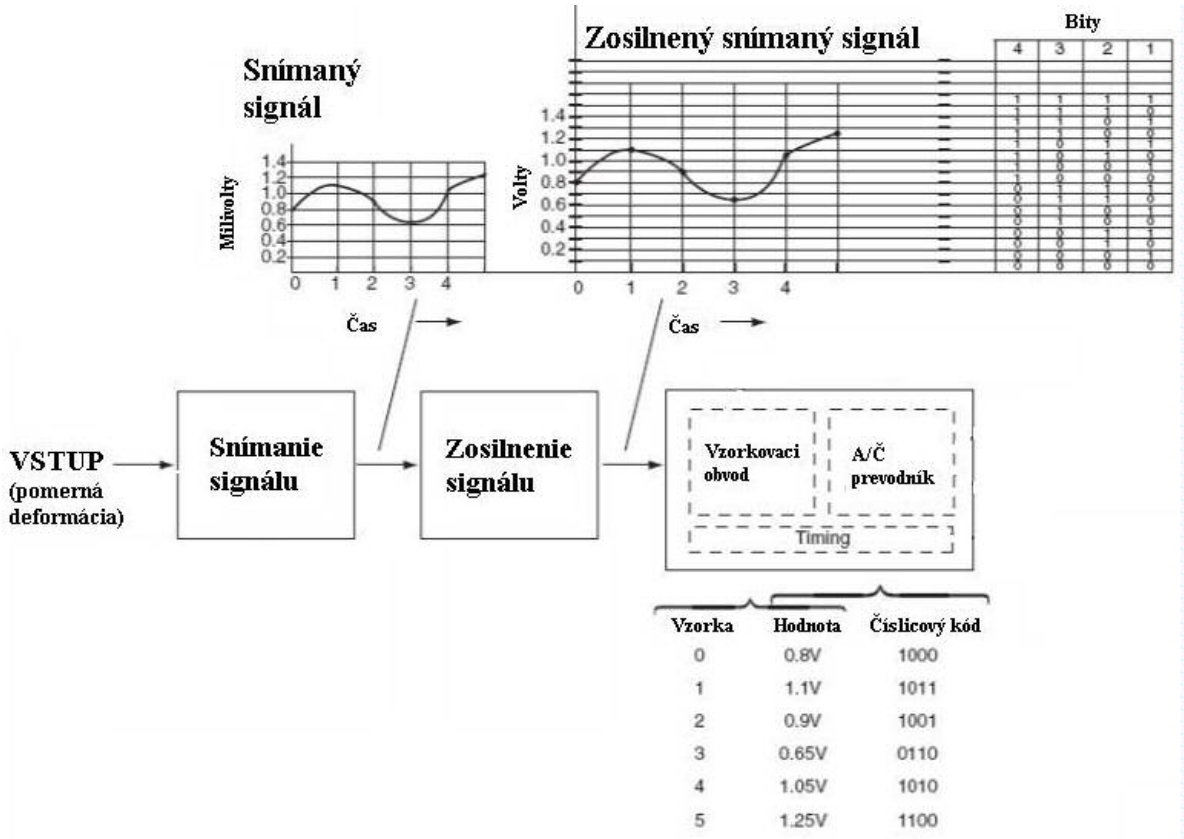
Vzhľadom na to, že zariadenie bude montovaná na mobilné zariadenia, musí mať malé rozmery a byť schopné dlhodobo autonómne fungovať bez vonkajšieho prívodu elektrickej energie.

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.

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

Koncepcia elektronickej časti systému tvorí základný merací a vyhodnocovací reťazec pre meranie fyzikálnych veličín a spracovanie signálu. [3]

Elektrický signál generovaný snímačom sa spracováva v niekoľkých za sebou nasledujúcich blokoch. Zjednodušená postupnosť je znázornená na nasledujúcom obrázku obr.10.



Obr. 10. Základné funkcie zariadenia pri spracovaní signálu

Zariadenie pozostáva z niekoľkých za sebou zapojených blokov, ktoré zabezpečujú nasledujúcu funkcionalitu:

1.Snímanie

Základnou funkciou prvého bloku je snímanie. Prvky, ktoré snímajú fyzikálne veličiny a transformujú ich na elektrické signály sa nazývajú snímače. Snímač na našom obrázku sníma pomernú deformáciu. Pomerná deformácia sa prejaví v zmenách elektrického signálu na výstupe snímača. Vzhľadom nato, že tieto zmeny signálu sú malé, elektrický signál zo snímača sa následne upravuje v zosilňovači.

2.Zosilňovač a filter

Je to elektronická časť zariadenia, ktorá zosilní amplitúdu signálu tak, aby ju bolo možné ďalej spracovávať pri podľa možnosti čo najvyššom rozlíšení. Výstupné hodnoty signálu po zosilnení sú v jednotkách voltov. Charakteristika zosilňovača by mala byť lineárna, aby nedochádzalo k skresleniu sledovaného signálu. Ďalšie obvody pre úpravu signálu upravujú úrovne signálu, extrahujú z neho len určité frekvencie (filtrácia), ktoré sú dôležité pre ďalšie spracovanie a upravujú a prispôsobujú impedanciu obvodov.

3.Analogovo-číslicový (A/Č) prevodník

Funkciou A/Č prevodníka je transformovať analógový signál na postupnosť číslicových kódov, ktoré môžu byť rozpoznávané a ďalej spracovávané v číslicovom tvare. Vzhľadom na to, že analógový signál je spojitý, je potrebný elektronický vzorkovací obvod (sample and hold), ktorý berie vzorky úrovne amplitúdy vstupného signálu v určitých, vopred zadefinovaných časových intervaloch. Tieto vzorky sú privedené na vstup samotného prevodníka a ten následne transformuje hodnotu amplitúdy na binárne číslo. Pretože sa analógový signál mení spojite a vzorky sa berú len v určitých časových intervaloch, môže pritom dochádzať k chybám. Obyčajne zvýšenie frekvencie vzorkovania znižuje tieto chyby. Preto je potrebné robiť kompromis pri návrhu takýchto obvodov a voľbe jeho parametrov.

Takto upravený a digitalizovaný signál zo snímača sa napríklad cez štandardné sériové rozhranie osobného počítača načíta zo snímacieho zariadenia a môže sa spracovávať a vizualizovať pomocou známych postupov z diskrétnej matematiky, štatistiky a pod. Bloková štruktúra zbernej jednotky je znázornená na obrázku obr.11.

Tvoria ju tri základné moduly:

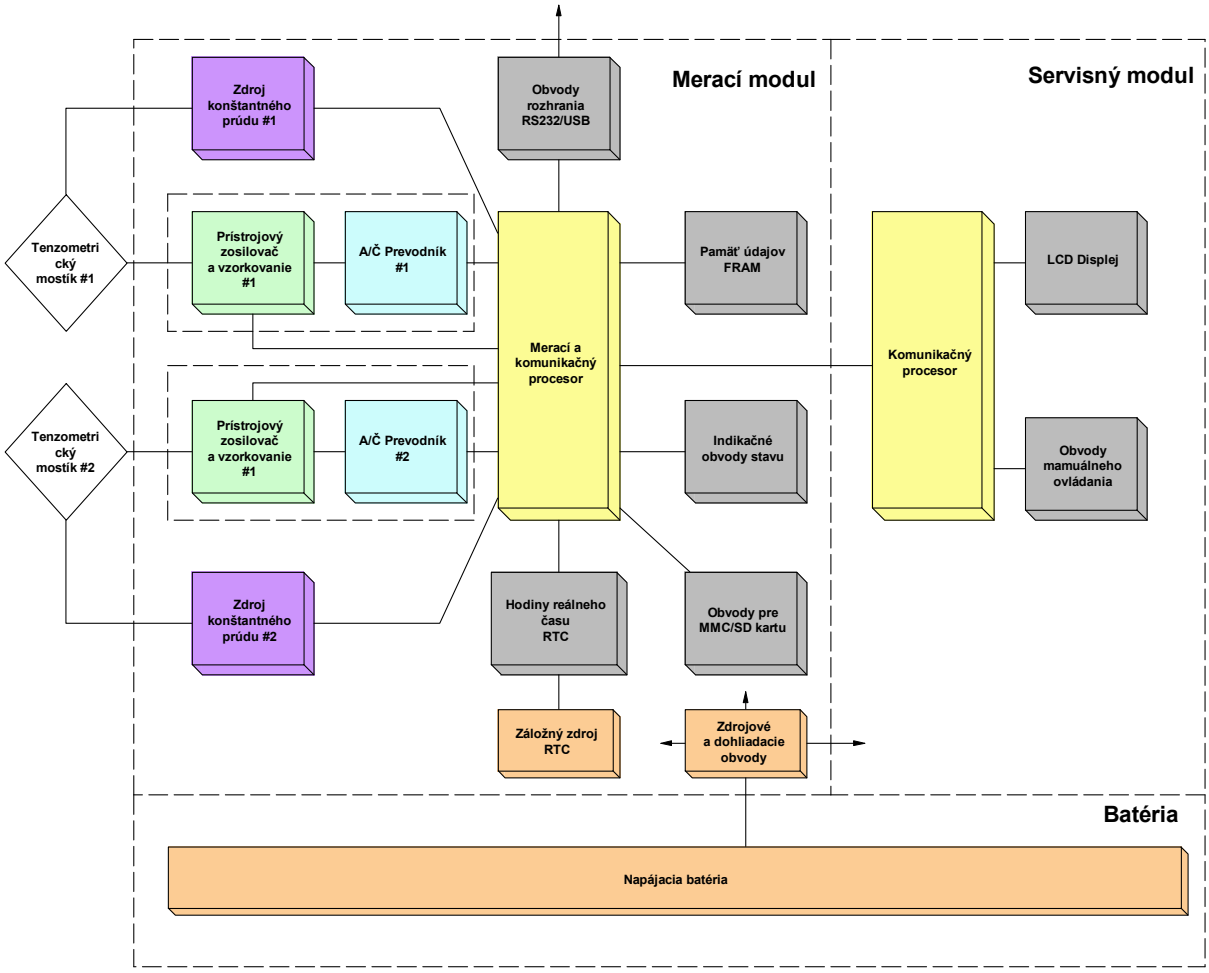
- merací modul,
- servisný modul,
- napájacia jednotka.

• merací modul

Merací modul je základnou časťou zariadenia. Jeho úlohou je meranie signálu prichádzajúceho z tenzometrických snímačov upevnených na konštrukcii sledovaného zariadenia, prevod signálu do číslicového tvaru, filtrácia a vytváranie rainflow matice. Vstupno-výstupné obvody zabezpečujú napájanie pre odporové tenzometrické snímače a zosilňujú diferenciálny signál z ich výstupov. Napájanie je riešené pomocou riadených zdrojov konštantného prúdu. V prípade, že nie je potrebné sledovať zmeny na vstupe, je možné napájanie snímačov elektronicky odpojiť. To znižuje nároky na spotrebu a tým aj na kapacitu batérie napájacieho zdroja. Zosilnenie zosilňovača je po krokoch nastaviteľné. Signál po zosilnení sa vzorkuje vo vzorkovacom obvode a privádza na vstup 24-bitového delta-sigma A/Č prevodníka. Jeden modul dokáže spracovávať signál z dvoch tenzometrických mostíkov. Pre kompenzáciu vplyvu teploty okolia na meranie zariadenie obsahuje teplotné snímače. Vzorkovanie je možné vykonávať s frekvenciou 10 alebo 80 SPS (sample per second). Jadro modulu tvorí mikropočítač, ktorý riadi činnosť celej meracej časti. Zabezpečuje spracovanie signálu z číslicových vstupov a riadi činnosť zosilňovačov a prevodníkov. Namerané hodnoty filtruje a spracováva do tvaru rainflow matice. Pre prácu s aktuálnymi údajmi používa pamäť typu FRAM, ktorá je dostatočne rýchla a uchováva údaje aj pri odpojení napájania. Pre informácie o čase spracovávania údajov používa obvody hodín reálneho času (RTC), ktoré sú zálohované zo špeciálnej batérie. Jeho rozhranie pre pripojenie MMC/SD pamäťovej karty dovoľuje jednak ukladať archivované údaje a jednak prenos údajov pre spracovanie na osobnom počítači. Údaje sa ukladajú do súborov v textovom formáte, ktorý je priamo použiteľný pre následné spracovávanie a vyhodnocovanie pomocou iných programov.

S osobným počítačom môže priamo komunikovať cez vstavané rozhranie RS232 resp. cez RS323/USB prevodník.

Pre signalizáciu stavov o činnosti systému alebo potrebe výmeny napájacej batérie slúžia jednoduché indikačné LED diódy. Číslicové vstupy slúžia pre niektoré špeciálne režimy ovládania činnosti meracej jednotky.



Obr. 11. Zberná jednotka

• servisný modul

Servisný modul tvorí samostatnú mikropočítačom riadenú jednotku. Pripája sa k meraciemu modulu cez jednoduché sériové rozhranie. Môže ale nemusí byť súčasťou celého meracieho zariadenia. Používa sa pre vizualizáciu a nastavenie niektorých parametrov meracieho modulu, napr. zosilnenia zosilňovačov, aktuálneho dátumu a času v RTC obvode a pod. Jeho výhodou je, že pri zmene nastavenia alebo kalibrácii systému nie je potrebné pripájať osobný počítač alebo notebook.

Jeho základom je mikropočítač s pripojeným LCD zobrazovacím modulom a jednoduchou maticou tlačidiel pre manuálne zadávanie údajov a komunikáciu s meracím modulom.

• napájacia jednotka

Hlavnou časťou napájacej jednotky je jednoducho vymeniteľná batéria s dostatočne veľkou kapacitou. Jej napätie slúži pre výrobu potrebných napájacích hladín meracieho a servisného modulu.

4. Programové vybavenie

Programové vybavenie sa rozdeľuje na dve základné častí:

- programové vybavenie riadiaceho mikropočítača,
- programové vybavenie servisného modulu.

Programové vybavenie riadiaceho mikropočítača zabezpečuje proces vzorkovania a riadenia celého merania, vytváranie rain-flow matice a ukladanie údajov do pamäti. Okrem

toho má aj základné funkcie pre komunikáciu so servisným modulom a externým rozhraním pre pripojenie osobného počítača.

Programové vybavenie servisného modulu slúži pre pohodlnú komunikáciu s používateľom pomocou jednoduchej klávesnice a LCD displeja, resp. pre nastavenie parametrov meracieho modulu. Obsahuje aj časť potrebnú pre komunikáciu s riadiacim mikropočítačom meracieho modulu.

5. Záver

Na základe napäťovej analýzy kostry rámu vozňa a ostatných uskutočnených analýz za získali údaje pomocou, ktorých bolo možné určiť miesto aplikácie on-line automatizovaného systému. Na vybrané miesto, ktoré je schematicky znázornené na obr. 2 ako medzipriečnik číslo 2, sa nalepia odporové tenzometre. Samotná hardwarová jednotka pre sledovanie a vyhodnocovanie zaťaženia bude umiestnená v blízkosti snímačov s ohľadom na jej rozmery a ochranu proti poškodeniu (obr.8). Zariadenie bude aplikované a odskúšané na vybranom železničnom koľajovom vozidle a bude on-line vyhodnocovať priebeh namáhania v mieste umiestnenia snímača. Priebeh namáhania bude spracovaný a zaznamenaný v dátovom súbore, ktorý bude obsahovať rain-flow maticu. Na základe týchto údajov bude možné po prenose do vizualizačného počítača pomocou spracovaného softwaru odhadovať zvyškovú životnosť sledovaných konštrukčných častí koľajového vozidla v ľubovoľnom časovom okamihu prevádzky. Toto zariadenie umožní v dostatočnom časovom predstihu predvídať možný vznik poruchy.

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

Literatúra

[1] Bigoš, P., Rusyniak, M., Moravčík, M., Tanyasi, O.: Analýza poruchovosti koľajového vozidla In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 10, 3/2006, s. 39-45. ISSN 1335-2393.

[2] Bigoš, P., Rusyniak, M., Moravčík, M., Tanyasi, O.: Pevnostná analýza ako prostriedok pre on-line hodnotenie životnosti koľajového vozidla In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 10, 3/2006, s. 45-51. ISSN 1335-2393.

[3] Bigoš. P, Tanyasi O.: Zavádzanie inovácie do konštrukcií koľajových vozidiel za účelom zvyšovania ich bezpečnosti, Transfér inovácií 9/2006, December 2006, str. 3-8, ISBN 80 – 8073 – 701 – 0.

[4] European Rail Research Institute: Report B12 /RP 17, 8.version.

[5] manuály k softw. Marc Analysis Research Corporation 1997.

[6] Rusyniak, M., Supek, B.: Pevnostná analýza kostry spodku vozňa Rilnss pre AAE.

[7] Trebuňa, F., Bigoš, P.: Intenzifikácia technickej spôsobilosti ťažkých nosných konštrukcií. Vienala, Košice, 1997, 345 strán, ISBN 80-967325-3-6.