

# DIJAGNOSTIKA DINAMIČKOG PONAŠANJA ŽELEZNIČKIH VOZILA

**Mr Miloš Milovančević, dipl. inž.**  
**Mašinski fakultet, Niš**

*U cilju obezbeđanja ispravnog rada železničkog vozila neophodno je obezbediti niz mera nadzora. Identifikovanjem i analizom vibracija na osovinskim sklopovima, kao i na podu sanduka šinskih vozila, dobija se slika stanja ogibljanja i stanja osovinskih sklopova. Ovo ima za cilj rano prepoznavanje otkaza ali i određivanje mirnoće i stabilnosti hoda šinskih vozila. Kod ranog prepoznavanja otkaza i dijagnoze centralnu ulogu igra frekventna analiza. Zadatak frekventne analize je da vibracije razloži na pojedinačne komponente u pogledu njihovih frekvencija.*

*Ključne reči: železnička vozila, dinamika vozila, dijagnostika*

## **EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE DINAMIČKOG PONAŠANJA ŽELEZNIČKIH VOZILA**

Fabrika MIN A.D. Lokomotiva je u periodu od 2003 - 2005. godine izvršila obimnu rekonstrukciju 7 drezina tipa TMD-22DC za Železnice Srbije. S obzirom da je izvršena konstrukciona izmena ogibljenja na drezini bilo je neophodno da se izvrši tipsko ispitivanje koje obuhvata i merenje mirnoće hoda. Tek posle izvođenja ispitivanja mirnoće hoda dodeljuje se upotrebna dozvola za rekonstruisano vozilo. Na slici 1 prikazana je rekonstruisana drezina.



*Slika 1: Teška motorna drezina TMD 22DC*

### **Tehnički opis teške motorne dresine TMD - 22 DC**

U cilju ispitivanja dinamičke stabilnosti hoda motorne dresine TMD 22DC 915-104 JP-a Železnice Srbije izvršeno je merenje i analiza ubrzanja na određenim mernim mestima. Merenje je obavljeno pri različitim brzinama i

smerovima vožnje drezine, na deonici pruge Čele Kula - Niška Banja.

Teška motorna dresina tip TMD - 22DC je dvoosovinsko samohodno vozilo namenjeno za upotrebu na železnici i to: za vuču vagona bruto težine do 160 t, za laku manevru, za prevoz rastresitog i kabastog tereta, za prevoz alata i materijala, za prevoz ljudi (pružnih radnika).

Postolja dresine je zavarena konstrukcija izvedena kao prostorna rešetka, koju čine standardni čelični profili i čelični limovi, međusobno spojeni elektrolučnim zavarivanjem. Konstrukcija postolja omogućava laku ugradnju svih sklopova teške motorne dresine. Čeone grede prilagođene su za ugradnju standardnih vučno-odbojnih uređaja, a dimenzionisane su tako da bez deformacija prime vučne i odbojne sile. Upravljačnica je konstruisana tako da u nju pored vozača može da se smesti još 8 ljudi. Sedište vozača postavljeno je paralelno sa pravcem vožnje, što omogućava dobru preglednost u oba smera vožnje.

Pogonsku grupu dresine čine sledeći sklopovi: dizel-motor, prenosnik snage, razdelnik pogona, kardanska vratila i osovinski sklopovi. Na prednjem delu teške motorne dresine ugrađen je potpomo šestocilindrični vazdu-hom hladjeni četvorotaktni dizel-motor sa prinudnim punjenjem i direktnim ubrizgavanjem. Na zamajac dizel-motora direktno se priključuje i za zvono zamajca vezuje hidrodinamički trobrzinski prenosnik snage. Hidrodinamički prenosnik snage čine sledeći sklopovi integrisani u jednom kućištu i to: hidrodinamički pretvarač, spojnica za premošćenje pretvarača, hidraulična pumpa, menjač smera, menjač brzina i izlazni deo.

Kontakt: Mr Miloš Milovančević, dipl. inž. maš.  
Mašinski fakultet Niš  
Aleksandra Medvedeva 14, 18 000 Niš, Srbija  
E-mail : milovancevic@masfak.ni.ac.yu

Obrtni moment sa izlazne prirubnice prenosnika snage do razdelnika pogona i od razdelnika pogona do osovinskih prenosnika prenosi se pomoću standardnih teleskopskih kardanskih vratila. Kardanska vratila dimenzionisana su tako da pouzdano mogu da prime i prenesu propisane obrtne momente.

Kao kućište osovinskih ležaja koristi se standardno vagonско kućište. Centralni provrt služi za smeštaj osovine i osovinskih ležaja. Vertikalno pomeranje i vođenje postolja obezbeđuju klizne površine od manganskog čelika. Na gornjoj površini kućišta postavljeni su oslonci za zavojne opruge.

Teška motorna dresina opremljena je sa tri pneumatske kočnice i to: direktnom, automatskom i parkirnom. Sve tri kočnice imaju električnu komandu, a kočnicama se komanduje električnim prekidačima.

Na dresini ugrađena je fiksna tovarna platforma. Tovarna platforma namenjena je za prevoz alata i materijala. Bočne stranice su pokretne i mogu da se preklope za 180°. Zabrlavlivanje svake bočne stranice ostvaruje se sa po dve poluge sa osiguračima.

Postolje teške motorne dresine ogibljeno je u odnosu na svako kućište osovinskih ležaja sa po dve dvostruke zavojne opruge. Ogibljenje je izvedeno po Lenoarovom principu.

Upravljački sto opremljen je instrumentima i svetlosnim indikatorima koji omogućavaju pouzdanu indikaciju pritiska, temperatura, brojeva obrtaja, brzine, pređenog puta, vremena, jačine struje, napona struje, nivoa goriva itd., što omogućava pravilno upravljanje i doprinosi pouzdanom i bezbednom radu teške motorne dresine.

#### 1. Opšti podaci:

- širina koloseka 1435 mm;
- minimalni poluprečnik krivine:
  - a) otvorene pruge 150 m;
  - b) industrijski koloseci 80 m;
- Maksimalno nadvišenje šine 150 mm;
- Najveći uspon 30 %;
- Klimatski uslovi kontinentalni;
- Opseg temperature okoline:
  - a) najviša +40°C;
  - b) najniža -30°C;
- Relativna vlažnost 60%;
- Najveća nadmorska visina 1000 m;
- Konstrkcioni gabariti UIC 505-1;

#### 2. Važnije geometrijske mere:

- Dužina preko odbojnika 8180 mm;
- Razmak osovina 3900 mm;
- Širina vozila 2800 mm;
- Visina vozila 4065 mm;
- Prečnik točka (nov/istrošen) 840/740 mm;
- Visina odbojnika 1055±5 mm.

#### 3. Brzina vozila:

- Najveća dozvoljena brzina 60 km/h;
- Projektna brzina cca 70 km/h;
- Najveća brzina u sastavu voza 60 km/h;
- Minimalna trajna brzina 4 km/h;

#### 4. Masa po osovini 9 t;

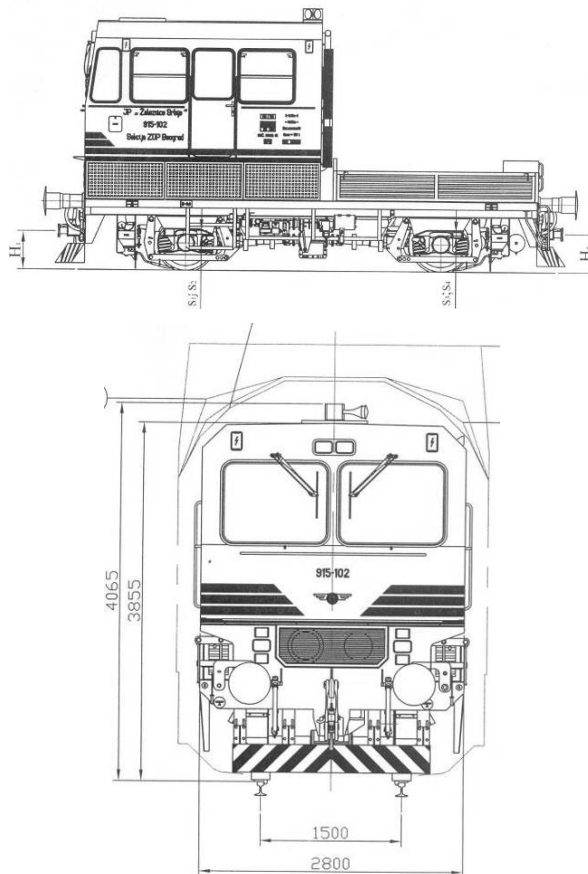
#### 5. Ukupna masa prazne dresine 14 t;

#### 6. Ukupna masa natovarene dresine 18 t;

#### 7. Raspored osovina B;

#### 8. Korisna nosivost dresine 4 t;

#### 9. Broj mesta za sedenje 8+1.



Slika 2: Gabariti teške motorne dresine TMD 22DC

### Opis ispitivanja

Merenje je izvršeno na 16 vožnji ispitivane motorne drezine. Merenje je vršeno na odabranoj deonici pruge Čele Kula - Niška Banja i to od 7+445,5 km do 8+535,0 km.

Navedena deonica pruge spada u treću klasu pruga, osposobljena je za brzine do 80 km/h, svojim karakteristikama ispunjava uslove za zadovoljavajuće merenje mirnoće hoda (ravna pruga bez skretnica i bez krivina, uspona i padova).

Merenja su izvršena za četiri brzine vožnje (40, 50, 60 i 70 km/h). Za svaku brzinu vožnje merena je mirnoća hoda sa i bez tereta, pri vožnji drezine u jednom i drugom smeru tj. ukupno 16 vožnji. Prvo su izvršena merenja bez tereta - prazan teretni prostor, u kabini je bilo 8+1 članova posade. Merenje vršeno pri konstantnoj brzini u oba smera: Čele Kula - Niška Banja što je bio smer nazad, jer je napred bio teretni deo drezine, i Niška Banja - Čele Kula (smer napred - voženo čelom drezine) i to:

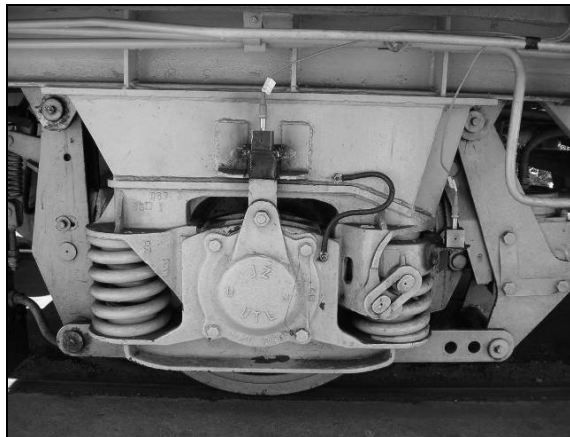
- smer nazad i smer napred, brzina 40km/h;
- smer nazad i smer napred, brzina 50km/h;
- smer nazad i smer napred, brzina 60km/h;
- smer nazad i smer napred, brzina 70km/h.

Nakon toga je u fabrici MIN Lokomotiva a.d. u teretni prostor drezine utovaren teret mase 3t, a zatim su opet izvršena merenja na prethodno spomenutoj deonici i u istim smerovima

Merenje ubrzanja izvršeno je na dva merna mesta - na podu kod sedišta vozača i na kućištu ležaja osovinskog sklopa što je prikazano na slikama 3 i 4



Slika 3: Merno mesto na podu kod sedišta vozača



Slika 4: Merno mesto na kućištu osovinskog ležaja

Merena su ubrzanja u tri međusobno normalne ose - transverzalno (bočno na smer vožnje), vertikalno i longitudinalno (uzdužno, odnosno u smeru vožnje) pomoću tri akcelerometra. Korišćeni su akcelerometri koji rade na induktivnom principu i imaju radno područje do 200 Hz. Za mirnoću hoda relevantne su vrednosti ubrzanja od 0,5 do 30 Hz, a za eventualnu analizu ostalih dinamičkih pojava do 150 Hz.

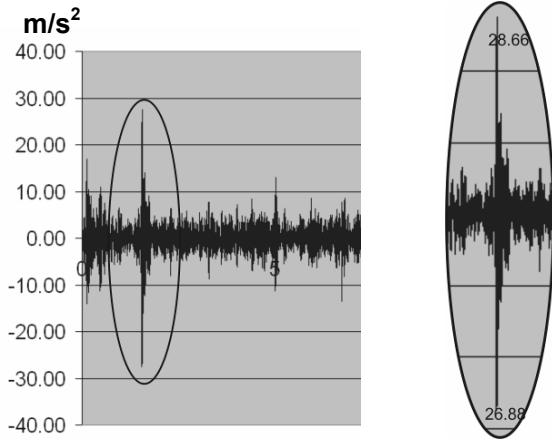
Merni signali, talasni oblici vibracija, iz mernih davača pojačavani su mernim pojačivačima, a zatim su snimani u prenosnom računaru i mernim magnetofonom.

### Rezultati merenja

Nakon izvršenog prenosa podataka sa pojačala u računar moguće je sagledavati rezultate za unapred definisane kanale/izlaze kroz dijagrame u korisničkom interfejsu Excela.

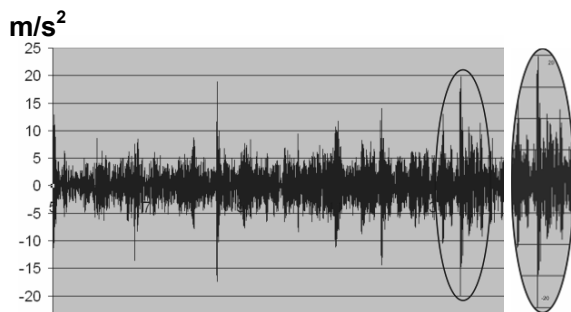
### Rezultati merenja vertikalnih ubrzanja na kućištu osovinskog sklopa

Vrednosti ubrzanja pod različitim uslovima data su u vremenskom domenu, vremenski interval u kome je vršeno svako pojedinačno merenje je 32 sekunde. Na dijagramu 1a su prikazana vertikalna ubrzanja za prvih 15 sekundi merenja jer postoji softversko ograničenje Excela koji ne može da prikaže na dijagramu više od 30.000 tačaka. Vertikalna ubrzanja na mernom mestu na kućištu ležaja osovinskog sklopa, sa dijagrama se mogu očitati. Ovo merenje je vršeno da bi se dobile vrednosti ubrzanja neposredno pre ogibljenja. Karakteristika ogibljenja je proverena upoređivanjem vrednosti ubrzanja dobijenih na mernim mestima između kojih se ogibljenje nalazi.



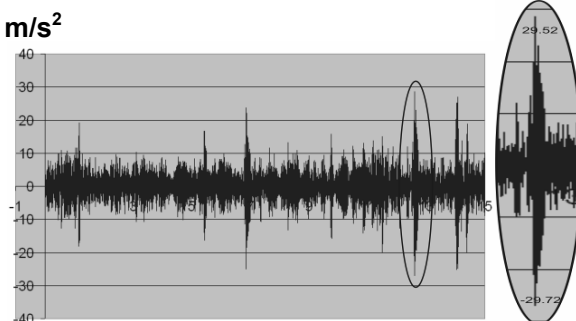
Dijagram 1a: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 0-15 s, 50[km/h]

Dijagram 1b nastavak ostatak vertikalnih ubrzanja u vremenskom domenu od 15-30 sekunde.



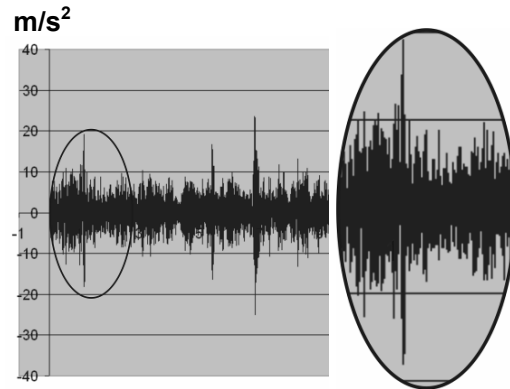
Dijagram 1b: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 15-30s, 50[km/h]

Rezultat merenja vertikalnog ubrzanja drezine na mernom mestu kućišta ležaja osovinskog sklopa pri brzini 50[km/h] ukazuju na ekstremne vrednosti vertikalnog ubrzanja -28.66 i 26.88 [m/s<sup>2</sup>]. Ove vrednosti su izuzetno visoke, ali nisu merodavne za ocenu mirnoće hoda jer su izmerene na neogibljenom delu vozila.



Dijagram 2a: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 0-15 s, 60[km/h]

Dijagram 2b prikazuje ostatak vertikalnih ubrzanja u vremenskom domenu od 15-30 sekunde.

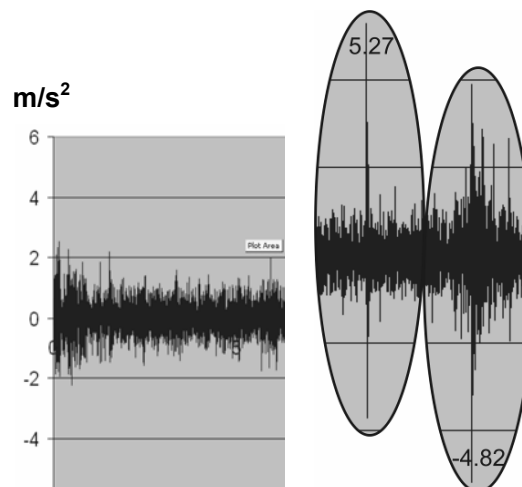


Dijagram 2b: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 15-30 s, 60[km/h]

Rezultat merenja vertikalnog ubrzanja drezine na mernom mestu kućišta ležaja osovinskog sklopa pri brzini 60[km/h] ukazuju na ekstremne vrednosti vertikalnog ubrzanja -29.52 i 29.73 [m/s<sup>2</sup>]. Izmerene maksimalne vrednosti vertikalnih ubrzanja na kućištu osovinskog sklopa kreću se u opsegu od 10 do 30 m/s<sup>2</sup>. Ovako visoke vrednosti vertikalnih ubrzanja su očekivane s obzirom da se radi o neogibljenom delu mase i da su izmerena ubrzanja posledica direktnog kontakta točak šina.

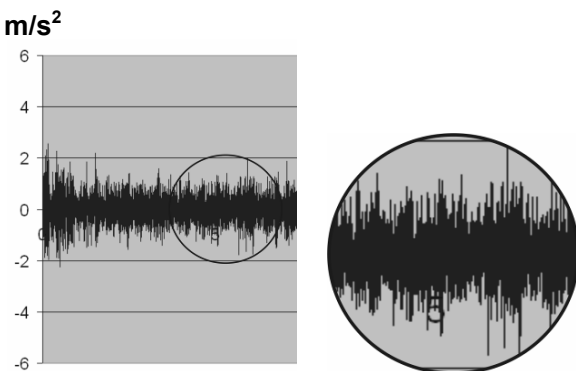
### Rezultati merenja vertikalnih ubrzanja na podu sanduka

Vertikalna ubrzanja merena su na podu drezine u upravljačnici, dobijeni podaci su prikazani u vremenskom domenu od 32 s.



Dijagram 3a: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 0-15 s, 50[km/h]

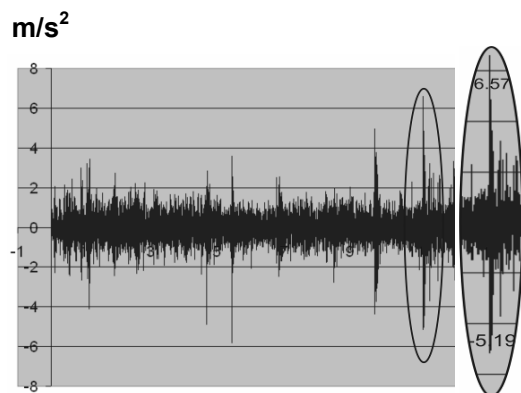
Dijagram 3b prikazuje ostatak vertikalnih ubrzanja u vremenskom domenu od 15-30 sekunde.



Dijagram 3b: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 15-30 s, 50 [km/h]

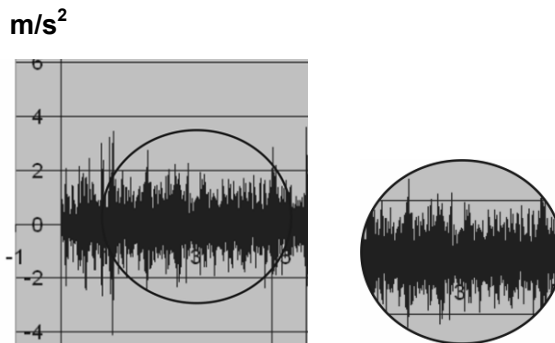
Rezultat merenja vertikalnog ubrzanja drezine na mernom mestu pod sanduka drezine pri brzini 50 [km/h] ukazuju na ekstremne vrednosti vertikalnog ubrzanja -4.82 i 5.27 [m/s<sup>2</sup>], ove vrednosti premašuju ograničenje prema UIC 518 od 4 [m/s<sup>2</sup>], mada se to poređenje samo uslovno može realizovati zbog složene procedure izbora mernih deonica.

Na dijagramu 4a nalazi se spektar vertikalnih ubrzanja u vremenskom opsegu od 0-15s.



Dijagram 4a: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 0-15s, 60 [km/h]

Dijagram 4b prikazuje ostatak vertikalnih ubrzanja u vremenskom domenu od 15-30 sekunde.



Dijagram 4b: Vertikalna ubrzanja u vremenskom domenu 15-30 s, 60 [km/h]

Rezultat merenja vertikalnog ubrzanja drezine na mernom mestu pod sanduka drezine pri brzini 60 [km/h] ukazuju na ekstremne vrednosti vertikalnog ubrzanja -5.84 i 6.57 [m/s<sup>2</sup>], ove vrednosti premašuju granične vrednosti prema UIC 518 od 4 [m/s<sup>2</sup>]. Pri tom ponovo treba uzeti u obzir činjenicu da poređenje dobijenih rezultata sa graničnim vrednostima iz objave UIC 518 podrazumeva znatno obimnija ispitivanja sa znatno složenijim procesom filtriranja i statističke obrade signala.

Međuti, bez obzira na prethodno, rezultati merenja vertikalnih ubrzanja na podu sanduka, u upravljačnici drezine, ukazuju da se na tom mestu javljaju visoke vrednosti maksimalnih amplituda ubrzanja.

S obzirom da je vremenski opseg merenja vertikalnih ubrzanja 32 sekunde pri brzini kretanja drezine od 60 km/h zaključuje se da je deonica na kojoj je vršeno merenje dužine približno 530 m.

Eksperimentalni podaci ukazuju da srednja vrednost amplitude iznosi približno 2 m/s<sup>2</sup> pri brzini kretanja drezine od 50 km/h, ali javljaju se maksimalne vrednosti amplituda (tri puta) koje prevazilaze graničnu vrednost od 4 m/s<sup>2</sup>. Kretanje brzinom od 60 km/h izaziva da srednja vrednost amplitude ubrzanja bude približno 3 m/s<sup>2</sup>, ali se javljaju maksimalne amplitude (14 puta) koje značajno nadmašuju dozvoljenu vrednost vertikalnog ubrzanja.

Na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka može se izvesti preliminarni zaključak da se drezina, deonicom pruge na kojoj je vršeno merenje, ne sme kretati brzinom većom od 50 km/h, jer se javljaju vertikalna ubrzanja koja najverovatnije mogu da ugroze bezbednost kretanja vozila, ali se za izvođenje konačnog zaključka moraju sprovesti ispitivanja striktno u skladu sa procedurama iz objave UIC 518.

## LITERATURA

- /1/ Kortuem W., Sharp, R.S., A report on the State-of-Affairs on 'Application of Multibody Computer Codes to Vehicle System Dynamics', Vehicle System Dynamics 1997
- /2/ Sharp R.S., and Kortuem, W., "Report on the Herbertov Workshop on Multibody systems Applications to Problems in Vehicle System Dynamics," Vehicle System Dynamics, 1997
- /3/ Kortuem W., Sharp, R.S. 'The IAVSD Review of Multibody Computer Codes for Vehicle System Dynamics', Proc. Third ASME Symposium on Transportation Systems. SME Winter Annual Meeting, Anaheim, CA, November 9-13, 1992
- /4/ Gimenez, J.G. Martin, L.M. Pascal, J.P. and Maupu J.L., "IAVSD Railway Benchmark No.2 Sidive and Voco Code Solutions", The Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (G. Sauvage ed.), Proc. 12th IAVSD - Symposium, Swets and Zeitlinger, Lisse, 1992, pp 551-565
- /5/ Kortuem W., Sharp, R.S. (editors), Multibody Computer Codes in Vehicle System Dynamics, Supplement to Vehicle System Dynamics, Vol. 22, Swets & Zeitlinger, Lisse, 1993
- /6/ Bannasch, M.; Maly, H.; Klose, C.; Saglitz, M.: Intelligent and Flexible Inspection of Trains for High-Speed Services, RTR 2-3, 2002.
- /7/ Tanel Telliskivi, Ulf Olofsson, Ulf Sellgren and Patrik Kruse Machine Elements, A TOOL AND A METHOD FOR FE ANALYSIS OF WHEEL AND RAIL INTERACTION Department of Machine Design Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden 1999
- /8/ Mr Miloš Milovančević „Istraživanje dinamičkog ponašanja železničkog vozila sa aspekta stanja radne ispravnosti“ magistarski rad, Mašinski fakultet u Nišu, jun 2006.

## RAIL VEHICLE DIAGNOSTICS

*In an attempt to secure regular work of railcar it is necessary to obtain list of maintenance measures. By identifying and by analysing vibrations on shaft assembly as well as on the flour of rail car, it is possible to obtain conclusion about other assemblies of rail cars. Purpose of this method is to determent dynamic behaviour and running behaviour. Frequent analyses are main roll in early failure determining .Frequent analyses is used to dissolve vibrations on separated frequents components.*

*Key words: rail vehicle, vehicle dynamics, diagnostics*

*Power of Enthusiasm*



**SOLARIS**

Solaris Bus & Coach Representative

**Engage**

Vatroslava Lisinskog 12a, 11000 Beograd  
Tel: +381 11 2084529; +381 11 2088041; +381 11 2088042  
Fax: +381 11 3291373