

## MERNA OPREMA ZA DINAMIČKA I KVAZISTATIČKA ISPITIVANJA ŽELEZNIČKIH VOZILA <sup>A</sup>

Dragan PETROVIĆ <sup>1</sup>  
Arandel BABIĆ <sup>2</sup>  
Milan BIŽIĆ <sup>3</sup>  
Mirko ĐELOŠEVIĆ <sup>4</sup>

**Rezime** – U radu je dat prikaz merne opreme koja je razvijena u Centru za železnička vozila Mašinskog fakulteta u Kraljevu. Oprema se može koristiti za ispitivanja železničkih vozila prema propisima UIC 518 (mirnoća hoda i stabilnost kretanja) i UIC 530-2 (ispitivanje podužnih sila i ponašanja vagona pri prolasku kroz S-krivinu). Merna oprema služi za kontinualno, bežično merenje sila u kontaktu točak-šina, podužnih sila na automatskim kvačilima, bočnih sila, ubrzanja, visine odizanja točkova vagona, digitalizaciji mernog signala, radio prenosu i odgovarajućoj obradi primljenih signala.

**Ključne reči** – Vozila, železnica, ispitivanje, dinamika

### 1. UVOD

Osnovna strategija razvoja Centra za železnička vozila Mašinskog fakulteta u Kraljevu usmerena je u tri pravca. Prvi pravac razvoja odnosi se na sistematično i efikasno izvođenje nastave i obrazovanja studenata iz oblasti železničkog mašinstva na Mašinskom fakultetu u Kraljevu, na svim nivoima studija. Drugi pravac razvoja odnosi se na nabavku savremene mernе opreme i adekvatno ojačavanje kadrova Centra, kao i na njihovo kontinualno usavršavanje u skladu sa vodećim svetskim trendovima iz oblasti železničkog mašinstva. Treći pravac razvoja odnosi se na naučno-istraživački rad Centra koji podrazumeva učešće u naučno-istraživačkim projektima i saradnju sa privredom.

Trenutno se realizuje FP-7 projekat finansiran od strane Evropske komisije i Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije čije je trajanje 36 meseci (Maj 2008–April 2011), a čiji je cilj upravo ojačanje Centra za železnička vozila Mašinskog fakulteta u Kraljevu. Rezultati projekta koncipirani su u skladu sa iznetim pravcima razvoja Centra, i u okviru projekta razvijena je i nabavljena savremena merna oprema za kvazistatička i dinamička ispitivanja železničkih vozila, prema međunarodnim propisima UIC 518 – za mirnoću hoda i sigurnost kretanja, i UIC 530-2 – za ispitivanje podužnih sila i ponašanja vagona pri prolasku kroz S-krivinu.

### 2. MERNA OPREMA

Razvijena merna oprema služi za kvazistatička i dinamička ispitivanja železničkih vozila, u skladu sa međunarodnim propisima UIC 518, za mirnoću hoda i sigurnost kretanja, i UIC 530-2, za ispitivanje podužnih sila i ponašanja vagona pri prolasku kroz S-krivinu.

U okviru merne opreme razvijeni su merni sistemi koje karakteriše kontinualno merenje sa bežičnim prenosom signala, među kojima su:

- Merni sistem za merenje bočne (Y) i vertikalne (Q) komponente sile koja se javlja u kontaktu između točka i šine
- Merni sistem za merenje bočne sile (H) i bočnog ubrzanja osovinskog sklopa, kao i visine odizanja točkova
- Merni sistem za merenje sile pritiska na automatskom kvačilu
- Merni sistem za merenje ubrzanja sanduka vagona
- Probnica za kalibraciju i ispitivanje mernih osovinskih sklopova

### 3. MERNI SISTEM ZA MERENJE Y I Q

<sup>1</sup> Prof. Dr Dragan PETROVIĆ, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, Kraljevo, petrovic.d@mfv.kg.ac.rs

<sup>2</sup> Prof. Dr Arandel BABIĆ, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, Kraljevo, babic.a@mfv.kg.ac.rs

<sup>3</sup> Milan BIŽIĆ, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, Kraljevo, bizic.m@mfv.kg.ac.rs

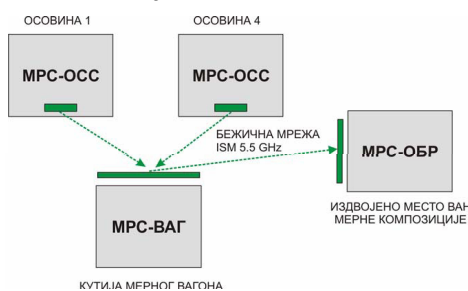
<sup>4</sup> Mr Mirko ĐELOŠEVIĆ, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, Kraljevo, djelosevic.m@mfv.kg.ac.rs

<sup>A</sup> Ovaj rad nastao je u sklopu Projekta finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije, pod nazivom „Osposobljavanje i priprema za akreditaciju Laboratorija za ispitivanje železničkih vozila saglasno Evropskim normama – podrška izvozu“ – Evidencioni broj TR-14019

## SILE KOJA SE JAVLJA U KONTAKTU IZMEĐU TOČKA I ŠINE

Ovaj memi sistem namenjen je za kontinualno merenje bočne i vertikalne sile koja se javlja u kontaktu između točka i šine, a odlikuje se bežičnim prenosom signala. Sistem je zasnovan na merenju deformacije monoblok točka u posebno odabranim tačkama, pomoću mernih traka, zatim na digitalizaciji memog signala, radio prenosu do statičkog elektronskog modula u kutiji vagona, kao i na odgovarajućoj obradi primljenih signala radi izračunavanja vrednosti komponenata sile.

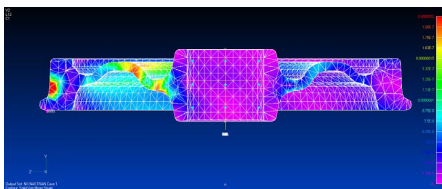
Osnovne komponente sistema su: dva mema osovinska sklopa teretnog vagona opremljena sa memim trakama, elektronsko računarska jedinica za prijem i skladištenje signala tokom merenja, i računarski modul za obradu i prikazivanje rezultata merenja. Navedene komponente međusobno su povezane u bežičnu ethernet mrežu koja im omogućava međusobnu komunikaciju.



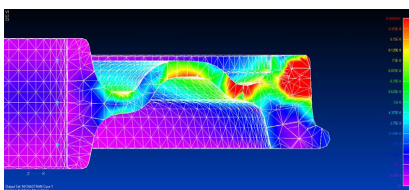
Slika 1. Osnovna blok šema mernog sistema za merenje bočne ( $Y$ ) i vertikalne ( $Q$ ) komponente sile

### 3.1. Merni osovinski sklop

Merni osovinski sklop zasnovan je na osovinskom sklopu češkog proizvođača Bonatrans, nosivosti 22,5t, sa dva monoblok točka prečnika 920mm. Na monoblok točkovima nalaze se merne trake čija je namena merenje deformacije koju izaziva dejstvo vertikalne i bočne sile. Položaj postavljanja mernih traka određen je na osnovu analize deformacija točka, pri čemu je korišćen softverski paket zasnovan na metodi konačnih elemenata.



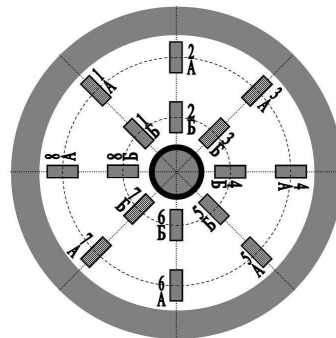
Slika 2. Deformacija točka pod dejstvom  $Y$  sile



Slika 3. Deformacija točka pod dejstvom  $Q$  sile

Merna mesta su po obimu točka raspoređena na 8 jednako udaljenih pozicija, sa ugaonim rastojanjem od

45°, a merne trake su grupisane po četiri obima na različitim radijalnim rastojanjima. Dve grupe od po 8 mernih traka na jednom prečniku nalaze se sa spoljašnje strane točka, a dve grupe sa unutrašnje strane točka.



Slika 4. Raspored mernih traka na dva radijalna rastojanja na jednoj strani točka

Povezivanjem mernih traka u granama mernog mosta obezbeđena je maksimalna osetljivost. Vrednosti napona mernog mosta u svakoj od četiri trake detektuju se odgovarajućom obradom u računarskoj jedinici. Otpornost pojedinačnih traka je 350  $\Omega$ , a ukupna otpornost svakog od osam punih mostova po točku je 350  $\Omega$ . Prenos podataka merenja sa rotirajuće osovine do kutije u mernom vagonu ostvaruje se radio vezom pomoću specijalnog elektronskog modula.



Slika 5. Elektronski radio modul kojim se prenose merni signali sa rotirajuće osovine

Napajanje kompletnog mernog sistema obavlja se preko odgovarajućeg modula za napajanje koji obezbeđuje nominalni napon od 7,2 V, a zasnovan je na bazi 12 ponovo punjivih baterijskih ćelija. Ovaj baterijski modul montira se na rotirajuću osovinu preko posebnog mehaničkog sklopa koji omogućava lako skidanje i postavljanje.

### 3.2. Elektronsko-računarska jedinica za prijem i skladištenje signala tokom merenja

Elektronsko-računarska jedinica za prijem i skladištenje signala tokom merenja smešta se u kutiju unutar mernog vagona. Osnovni deo ove jedinice je personalni računar koji radi pod operativnim sistemom Linux Ubuntu, koji je centralni deo LAN ethernet mreže. Posredstvom ove mreže sabiraju se signali sa mernih osovine, akcelometara, merača odizanja točkova i ostalih senzorskih elemenata. Kompletna jedinica je, radi lakšeg rada, skladištenja i transporta smeštena u aluminijumsku kutiju, zajedno

sa akumulatorskim napajanjem i elementima koji su potrebni za instalaciju sistema u merni vagon.

### 3.3. Računarski modul za obradu i prikazivanje rezultata merenja

Računarski modul za obradu i prikazivanje rezultata merenja nalazi se na izdvojenom mestu van kompozicije sa mernim vagonom.

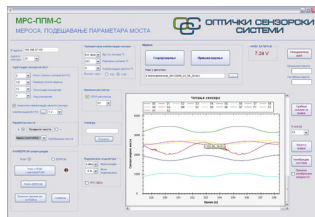


Slika 6. Računarski modul na izdvojenom mestu van kompozicije sa mernim vagonom

U realnom vremenu prima rezultate merenja od jedinice za skladištenje, obrađuje ih na odgovarajući način u cilju dobijanja merenih veličina – vertikalne sile, bočne sile i izvedenih veličina, i prikazuje dobijene rezultate. Po potrebi, ovaj modul može se nalaziti i u samom mernom vagonu.

### 3.4. Softverski paket za podešavanje parametara mernih mostova

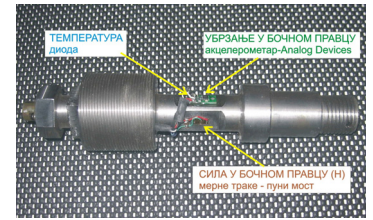
Softverski paket MRS-PPM-S služi za podešavanje parametara vezanih za akviziciju signala sa mernih traka, kao što su rezolucija i brzina konverzije, ofset i pojačanje signala, temperaturna kompenzacija i sl.



Slika 7. Korisnički interfejs softverskog paketa

## 4. MERNI SISTEM ZA MERENJE BOČNE SILE I BOČNOG UBRZANJA OSOVINSKOG SKLOPA, KAO I VISINE ODIZANJA TOČKOVA

Merenje bočne (H) sile i bočnog ubrzanja vrši se posredstvom posebnog mehaničkog sklopa – pretvarača H sile, na kome je omogućeno postavljanje mernih traka. Ovaj sklop je specijalno konstruisan tako da omogući efikasnu i linearnu konverziju sile koja deluje u bočnom pravcu u deformaciju senzorskog elementa.



Slika 8. Pretvarač za merenje bočne sile

Dve bočne strane pretvarača sile kod ovog mehaničkog sklopa nose po par mernih traka, koje su međusobno postavljene pod pravim uglom. Ove četiri merne trake čine jedan puni merni most, pri čemu je ostvarena maksimalna osetljivost merenja deformacija pritiska i istezanja (odnosa H sile) i kompenzacija svih drugih uticaja (momenta savijanja, temperature).

Ubrzanje u bočnom pravcu meri se pomoću posebnog elektronskog sklopa dimenzija 20x10mm, koji je opremljen dvoosnim akcelometrom Analog Devices ADXL320JCP. Napajanje i signal sa akcelometra, napajanje elektronskog modula, napajanje i signal mernog mosta za merenje H sile se, posredstvom 7-pinskog konektora, koji se nalazi na izlaznom vrhu pretvarača sile, povezuju sa odgovarajućom elektronskom jedinicom.

Mehanički sklop za merenje visine odizanja točka pretvara visinu odizanja u ugaoni pomeraj kraka koji drži klizače na šini, sa prednje i zadnje strane točka. Prilikom odizanja točka telo pretvarača se izdiže i uglovi oba kraka klizača po šini smanjuju se u odnosu na normalu.



Slika 9. Pretvarač za merenje visine odizanja točka

## 5. MERNI SISTEM ZA MERENJE SILE PRITISKA NA AUTOMATSKOM KVAČILU

Sila pritiska na automatskom kvačilu meri se posebno instrumentalizovanim setom kvačila tipa SA-3, koja se postavljaju na vagone koji se nalaze ispred i iza mernog vagona u mernoj kompoziciji.



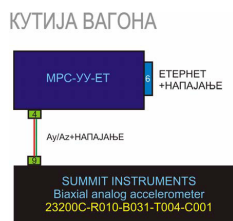
Slika 10. Automatsko kvačilo tipa SA-3

Dva para mernih traka postavljena su u pun merni most na jednom od kvačila. Dve merni trake su postavljene u pravcu

izduženja pri zatezanju, a druge dve su normalne na pravac istežanja i korise se za kompenzaciju. Detekcija i pobuđivanje memog mosta, digitalizacija i slanje memog signala vrši se odgovarajućom elektronskom jedinicom. Ovaj elektronski modul napaja se iz baterijskog modula, a ethernet komunikaciju sa računarskim jedinicama ostvaruje posredstvom bežične radio veze u ISM opsegu na 2.4 GHz.

## 6. MERNI SISTEM ZA MERENJE UBRZANJA SANDUKA VAGONA

Merenje ubrzanja sanduka vagona u bočnom i vertikalnom pravcu vrši se posredstvom kalibrisanog dvoosnog akcelerometra SUMMIT INSTRUMENTS 23200CR010-B031-T004-C001, opsega merenja  $\pm 10g$  i frekvencijskog propusnog opsega 31 Hz.



Slika 11. Blok šema mernog kompleta za merenje ubrzanja sanduka vagona

Ova merna jedinica se direktno vezuje za odgovarajuću računarsku jedinicu žičnom ethernet vezom, posredstvom UTP kabla, preko koga se i napaja.

## 7. PROBNICA ZA KALIBRACIJU I ISPITIVANJE MERNIH OSOVINSKIH SKLOPOVA

Probnica je namenjena za kalibraciju i ispitivanje mernih osovinskih sklopova u kvazistatičkom i dinamičkom režimu. Osnovna namena probnice je kalibracija mernog osovinskog sklopa koji služi za određivanje bočne Y i vertikalne Q sile, koje deluju u kontaktu točak-šina, i njihovog odnosa Y/Q. Opremljena je hidrauličkim sistemima za zadavanje opterećenja u vertikalnom i bočnom pravcu do 100kN i 50kN po točku, respektivno. Sila se meri pomoću pretvarača sile C klase koji se nalaze u vertikalnom i bočnom pravcu u odnosu na pravac delovanja hidrauličnih cilindara. U toku kalibracije instrumentalizovanog osovinskog sklopa sila se očitava na alfa numeričkom displeju sa tačnošću od 1kg. Zadane sile u vertikalnom i bočnom pravcu proizvode u točku elastične deformacije koje se preko sistema mernih traka povezanih u Vitstonove mostove mere u vidu električnog naponskog signala. Memi signali se beskontaktno putem radio veze prenose do prijemnog računara gde se vrši akvizicija i obrada signala. U dinamičkom režimu kalibracije obezbeđeno je obrtanje memog osovinskog sklopa preko pogonskog osovinskog sklopa koji ima ulogu šine. Pogonski sklop je preko kardanskog vratila povezan sa elektromotorom sa reduktorom, čiji se broj obrtaja menja pomoću frekventnog regulatora do 10Hz. Probnica omogućava ispitivanje odnosa bočne i vertikalne sile Y/Q u zavisnosti od položaja napadne tačke točka na glavu šine.



Slika 12. Probnica za kalibraciju i ispitivanje seta mernih osovinskih sklopova

## LITERATURA

- [1] R. Rakanović, D. Petrović, Z. Šoškić, T. Simović, "ISPITIVANJE MAŠINSKIH KONSTRUKCIJA", Mašinski fakultet Kraljevo, 2006. godina, ISBN: 86-82631-30-X
- [2] D. Petrović, R. Rakanović, ŽELEZNIČKA VOZILA - PRAKTIKUM", Mašinski fakultet Kraljevo, 2006. godina, ISBN: 86-82631-31-8
- [3] UIC 518 standard
- [4] UIC 530-2 standard

## MEASURING EQUIPMENT FOR DYNAMIC AND QUASISTATIC RAILWAY VEHICLES TESTING

Dragan PETROVIĆ  
Arandel BABIĆ  
Milan BIŽIĆ  
Mirko ĐELOŠEVIĆ

*Abstract – This paper presents measuring equipment that has been developed at the Center for Railway Vehicles at the Faculty of Mechanical Engineering in Kraljevo. Equipment can be used to test railway vehicle according to UIC 518 (quiet walk and stability of movement) and UIC 530-2 (testing of longitudinal force and the behavior of cars passing through the S-curve). Measuring equipment is used to continuously measure the force in the wireless wheel-rail contact, the longitudinal force of the automatic clutch, side force, acceleration, altitude of up-lifting of wagon wheels, the digitalization of the measuring signals, radio transmission and appropriate processing of received signals.*

*Key words – Vehicles, Railway, Research, Dynamic*