

## СТАЦИОНАРНИ ДИЈАГНОСТИЧКИ СИСТЕМИ У ОДРЖАВАЊУ ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ВОЗИЛА

*Проф. др Душан Стаменковић,  
мр Горан Петровић*

*Универзитет у Нишу  
Машински факултет у Нишу*

### **Резиме**

*У циљу повећања ефикасности одржавања и расположивости железничких возила уведени су дијагностички системи који се уграђују у возило тзв. он-борд ОБ (eng. on-board) системи и стационарна дијагностика. ОБ дијагностички систем је саставни део возила, док се стационарни систем поставља у радионици или поред пруге. У раду се даје кратак преглед технологија стационарне дијагностике које се последњих година интензивно развијају у свету.*

**Кључне речи:** *дијагностика, одржавање, железничка возила*

### **1. УВОД**

Суштина савременог приступа одржавању железничких возила према стању лежи у поузданој дијагностици и обради систематизованих мерних података. Основу за спровођење оптималног одржавања према стању железничких возила чини прецизан опис индивидуалних улога и функција склопова унутар возила, на основу кога се дефинише дијагностичка метода и дијагностичка опрема погодна за инсталирање на возилу. Поред тога неопходно је да се регистровани мерни подаци архивирају и систематизују како би на основу њих могла да се доноси одлука о спровођењу одређене активности одржавања.

Развој нових технологија значајно је утицао на савремена железничка возила. Данашња железничка возила имају снажне погонске системе, лаке и веома чврсте носеће конструкције, поуздане кочне системе. Бројна савремена решења, као што су нископодни улази, аутоматска врата, модерни санитарни уређаји,

системи за грејање, климатизацију, осветљење, и др. обезбеђују удобну вожњу путницима. Брзина кретања возова данас је достигла 300 km/h. Бројна техничка решења увећавају сложеност железничких возила, али се применом савремене електронике и рачунара обезбеђује успешна експлоатација.

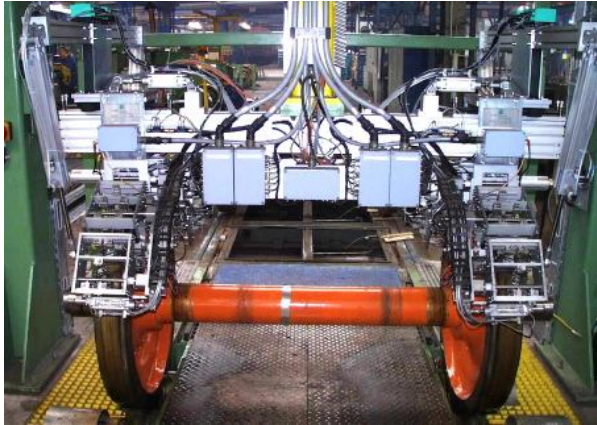
Тако комплексан систем, као што је воз, немогуће је у потпуности пратити и контролисати, али тежња је да се врши надзор што већег броја склопова, уређаја, односно система на возилу. Нова железничка возила су опремљена бројним сензорима и мониторинг возила може да се обавља и ван возила помоћу савремених информационих технологија, уз стално праћење бројних параметара на агрегатима возила. Тако су развијени бројни дијагностички системи који се уграђују у возило, ОБ дијагностика, као и дијагностички системи инсталирани на прузи (на редовној линији или у депоу), тзв. стационарна дијагностика. ОБ системи се користе за континуални надзор уређаја возила у експлоатацији док се стационарни дијагностички системи користе за повремене-периодичне прегледе исправности железничких возила. Уколико је стационарни дијагностички систем постављен у радионици, онда се врши утврђивање стања возила које је искључено из саобраћаја, у оквиру контролног прегледа. Када је дијагностички уређаји инсталиран на редовној траси, непосредно уз пругу, онда се надзор одређених склопова возила врши у оквиру редовне експлоатације, без заустављања.

Савремени дијагностички системи су значајно унапредили стални надзор железничких возила и повећали ефикасност превентивног одржавања према стању.

### **2. СТАЦИОНАРНИ ДИЈАГНОСТИЧКИ СИСТЕМИ У РАДИОНИЦИ**

Да би периодични контролни прегледи железничких возила у депоима били ефикаснији развијени су специфични дијагностички системи. Тако је Немачка железница (Deutsche Bahn) развила механизоване уређаје за испитивање трчеће површине точкова и тако унапредила контролу точкова у одржавању ICE возова. Претходно мануелно испитивање замењено је аутоматизованим испитивањем у депоима немачких железница инсталирањем опреме за испитивање точкова разграђених осовинских склопова и опреме за испитивање точкова без разградње осовинских склопова. Постројење за испитивање точкова разграђених осовинских склопова у немачком граду Падерборну (слика 1.а) обухвата ултразвучно испитивање и испитивање вртложним струјама. Вишеканални систем за испитивање поседује одговарајући софтвер за анализу резултата.

Због веће сложености возила, време потребно за разградњу осовинских склопова из возила је веће, што смањује расположивост возила и повећава трошкове одржавања. Да би се то превазишло, развијени су поступци испитивања железничких точкова без разградње осовинских склопова. Оваква опрема се често назива подземном опремом за испитивање. Прво овакво постројење постављено је у депоу при Централној Минхенској станици за ICE возове 2001. године (слика 1.б) [1].



a)

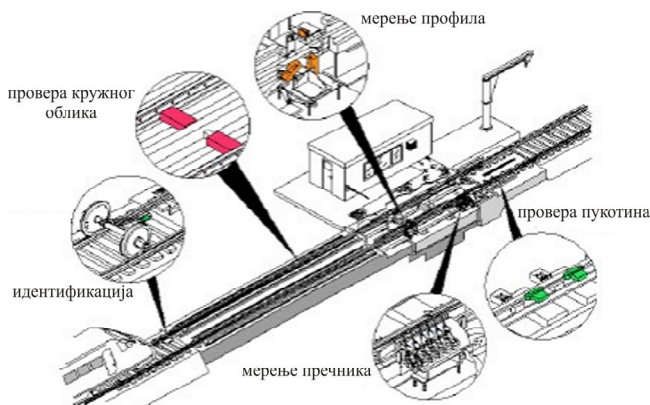


б)

Сл. 1. а) Преглед точкова у депоу DB Cargo у Падерборну б); подземно постројење за испитивање точкова у ICE депоу Централне Минхенске станице

Предности ове аутоматизоване опреме су: већа поузданост испитивања, смањење времена испитивања, смањење трошкова и рачуарска обрада података. Стационарни дијагностички систем за надзор стања осовинских склопова (ULM), шематски приказан на слици 2, представља окосницу процеса одржавања ICE воза у депоима и непрекидно се усавршава и побољшава [2].

истрошеност и детектују се равна места на точку. Овакав дијагностички систем представља основу континуиране дијагностике стања осовинских склопова и саставни је део процеса одржавања у депоима. Сви подаци добијени дијагностиком се прикупљају и представљају битан елемент одлучивања у процесу одржавања ICE воза.



Сл. 2. Дијагностички систем за надзор точкова осовинских склопова (ULM)

Док воз пролази кроз дијагностичко постројење, проверава се центричност и профил точкова; на месту додира точак – шина, точак се ултразвучно скенира у циљу утврђивања постојања оштећења. Дијагностички подаци се сакупљају и архивирају у меморију рачунара након сваког проласка воза кроз ULM постројење. Дијагностика се врши док се воз креће кроз постројење брзином од 5 km/h. Овај дијагностички систем је у потпуности аутоматизован. Након препознавања воза, када сензори пошаљу информацију о приближавању воза, врши се преглед контактних површина точкова у циљу проналажења оштећења помоћу ултразвучног тестирања. Након тога се мере профили оба точка осовинског склопа коришћењем снопа светлосних зрака. Битни параметри геометрије точка (пречник точка и дебелина обруча точка) мере се у модулу за мерење точкова. На крају се мери радијална

### 3. СТАЦИОНАРНИ ДИЈАГНОСТИЧКИ СИСТЕМИ НА ПРУЗИ

Први стационарни дијагностички системи на прузи развијени су шездесетих година двадесетог века, али је њихова експанзија почела последњих 15 година [9]. Канадска национална железница је до 2002. године инсталирала 452 дијагностичка система са детекторима загревања осовинских лежајева и детекторима за откривање делова који излазе из габарита. У Америци су инсталирани разни типови детектора, међу којима су детектори буке лежајева, детектори бочног померања, детектори перформанси обртних постоља, детектори ударног оптерећења точкова и детектори профила точкова. Технологије мониторинга стања железничких возила су последњих година постале широко заступљене, тако да је то довело до могућности идентификације возила са лошим перформансама пре него што она изазову озбиљнија оштећења на инфраструктури. У земљама Европе, такође се догађа интензиван развој уређаја за мониторинг, што доводи до изузетно повољних резултата у смањењу отказа на возилима, као што су одступања од кружног облика и равне површине на точковима. У Холандији је развијен систем за детекцију равних површина точкова и за мерење осовинског оптерећења за возила у покрету. Сензори су уграђени испод шине на 38 локација и сви су повезани у централни сервер. Примена овог система довела је до смањења трошкова и за превознике и за власнике инфраструктуре. Превозници су имали смањење трошкова у одржавању точкова, али се такође смањило и број сломљених опруга огибљења, док су откази прегревања осовинских лежајева смањени за 90%. Власници инфраструктуре су добили бољи

преглед коришћења пруге (колико је тона прошло пругом). У Аустралији је инсталиран велики број детектора загрејаности осовинских лежајева, детектора за откривање делова који излазе из товарног профила, детектора ударног оптерећења точкова, система за мерење осовинског оптерећења за возила у покрету, детектора бочног померања, детектора буке лежајева, детектора перформанси обртних постоља и видео надзор за контролу вагона. На овај начин су успели да смање укупне трошкове транспорта за 50% у периоду 1990. до 1998. године. Радни век возила је продужен, а време експлоатације неких компоненти возила су увећане три пута, док је радни век шина увећан пет пута у периоду од 1972. до 2000. године.

Већина дијагностичких система за праћење стања железничких возила је усредсређено на тачкове и обртна постоља. С обзиром на то да су ти делови значајни за сигурност трчања, имају највећи утицај на трошкове одржавања. Највећи део трошкова одржавања, како возила тако и инфраструктуре, изазвана је појавама које се дешавају у контакту тачак – шина. Отказ на контакту тачак – шина може изазвати исклизнуће возила.

Неки примери стационарног дијагностичког система као што су:

- детектори за откривање делова кола који излазе из товарног профила,
  - детектори прегрејаности осовинских лежајева и загрејаности тачка и
  - детектори проклизавања тачка,
- детектују стварне недостатке на возилима, који се тешко могу предвидети или имају веома кратко време до отказа. У већини случајева информације из ових система нису погодне за утврђивање тренда, али су од значаја за заштиту опреме од даљег развоја отказа услед уоченог недостатка.

Детектори за откривање делова возила која излазе из товарног профила се најчешће користе за детекцију опреме која виси испод возила. Постоје једноставни механички детектори, као и савремени уређаји базирани на визуелној детекцији.

Детектори прегрејаности осовинских лежајева су у употреби од 1960. године и користе инфрацрвене камере које детектују топлоту генерисану услед неисправности лежаја. Прегревање лежаја може наступити веома брзо, и тада оставља мало могућности за откривање пре настанка потпуне хаварије. Лежај може да има недостатак дуже време и да показује мало одступање у температури, али после извесног времена наступа нагли скок у температури.

Детектор загрејаности тачка је сличан детектору прегрејаности осовинских лежајева. Он детектује топлотно зрачење са тачка. Ова технологија се користи за детекцију проклизавања или блокирања тачкова. Мерењем температуре тачкова на местима где налажу кочне папуче и упоређујући их међусобно могуће је открити тачкове који имају већу или мању силу кочења. Висока температура може да укаже на блокирање тачка, док ниска температура може да укаже на отказ у кочном полужју. Поред овог постијоји могућност откривања проклизавања тачка дигиталном обрадом слике. Тачак је тада опремљен местима за идентификацију (на пример: беле тачке равномерно

распоређене по тачку). Секвенце слика се анализирају да би се утврдило кретање означених тачака у односу на брзину возила. Онда је могуће предвидети да ли се тачак окреће нормално, делимично проклизава или потпуно клиза.

За разлику од ових, постоје стационарни дијагностички системи који су способни за мерење, снимање и предвиђање трендова перформанси возила, као и специфичних компоненти возила. Из прикупљених информација могуће је да се анализира стање опреме и да се предвиде могући откази и грешке које се могу десити у блиској или далекој будућности. Ово олакшава планирање активности у одржавању, а такође и обезбеђује ефикаснију експлоатацију опреме. Неки примери предиктивних дијагностичких система су:

- акустична детекција отказа лежајева;
- мониторинг перформанси возила;
- мониторинг стања тачкова;
- видео надзор возила.

### 3.1. Акустична детекција отказа лежајева

Акустично мерење је метод чија примена све више расте. Ова технологија користи микрофоне за снимање звука са возила које пролази. Мониторинг системи који се користе углавном се односе на осовинске лежајеве, јер је познато да откази лежајева производе вибрације на фреквенцијама које се могу повезати са карактеристикама неисправности.

Развој акустичких детектора је наступио због ограничења детектора прегрејаности осовинских лежајева и потребе за раним откривањем отказа лежајева. Овакви системи су у употреби у Северној Америци и Аустралији где су постигнути добри резултати. Акустични мониторинг систем за детекцију отказа осовинских лежајева (слика 3) може, на основу измереног нивоа буке, да установи отказ осовинског лежаја (и то у раној фази) и тако да спречи већа оштећења, па чак и исклизнуће возила.



Сл. 3. Акустични мониторинг систем за детекцију отказа осовинских лежајева [12]

Овакви системи се могу користити и за одређивање оптималног времена за замену лежајева

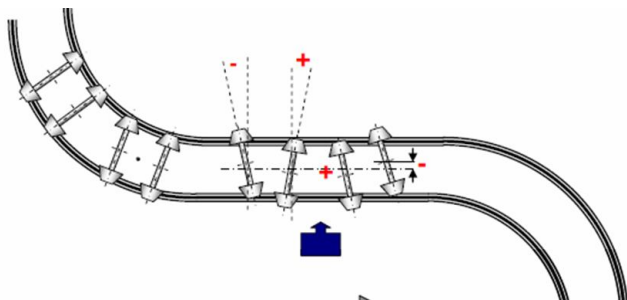


### 3.2. Мониторинг перформанси возила

Мониторинг системи на шини се користе за праћење перформанси возила, обртних постоља и слободних осовинских склопова, тако што се утврђује бочно померање, змијолико кретање и нападни угао. Постоје системи који користе контактну силу и бесконтактни систем мониторинга. Контактни системи су често засновани на мерним тракама и/или акцелерометрима. Бесконтактни системи користе ласере и визуелне технологије.

Уградњом мерних трака и акцелерометра на шини могуће је да се мере силе које индукује возило на шину. Могућност да се измере и бочне (латералне) и вертикалне силе омогућава да се идентификују возила која су у опасности од исклизнуће. За оцену ризика користи се однос између бочне и вертикалне силе. Систем се инсталира са мерним тачкама у десним и левим кривинама колосека, као и на правим деоницама између кривина. То даје могућност да се прикупе подаци о понашањима возила у обе кривине, као и на правцу. Угао напада осовинског склопа је такође могуће утврдити применом одређених техника мерења. Нападни угао се одређује на основу временске разлике између преласка десног и левог точка преко мерне тачке.

Пример бесконтактне технологије је оптичка контрола геометрије шина-обртно постоље (eng. Truck/Bogie Optical Geometry Inspection -T/BOGI) канадске компаније WID (Wayside Inspection Devices) [9]. Овај производ је оптички мониторинг систем за мерење нападног угла и бочне позиције точкава у односу на шину (слика 4).



Сл. 4. Шематски приказ мерења путног угла точка

Систем користи ласер и камеру за мерење позиције осовинских склопова. Систем је такође способан да мери бочна померања кола, ако се мери више јединица за редом.

### 3.3. Мониторинг стања точкава

За процену стања точкава и њиховог радног века важно је контролисати стање површине котрљања точка, профила венца точка, као напрезања и напрелина точка.

Тензометријско мерење се примењује код детектора удара точка. Овај тип детектора има за циљ да открије оштећења на површини точка тако што мери динамичке вертикалне силе на шини током целог круга котрљања точка. Ако постоји оштећење на точку, као што су

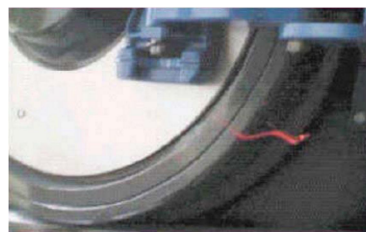
равне површине, током котрљања точка по шини могу на наступе велике ударне силе у контакту точка/шина. Овај детекторски систем такође може да открије одступања од кружног облика точкава. Током примене оваквих система у Аустралији и Шведској оцењено је да поуздано откривају оштећења.

Систем за мониторинг точкава под називом Текнис представља мерну станицу за идентификацију оштећења на точковима, који су повезани са великим ударним силама точка, одступањем од кружног облика и појавом љуштења површинског слоја, као и тежином точка (слика 5) [9].



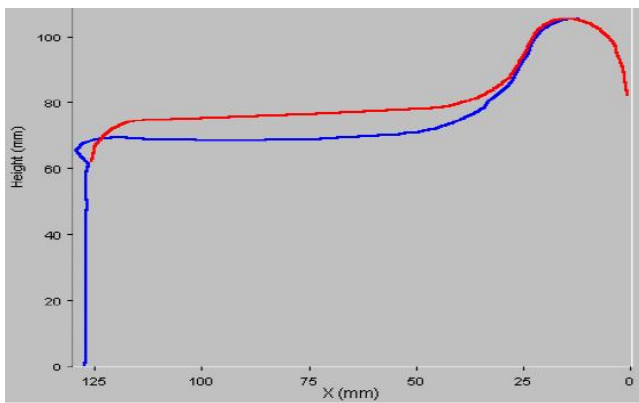
Сл. 5. Текнис систем за мониторинг точкава

Технологије мерења профила точка ласером и камером су методе бесконтактног мерења стања точкава. На слици 6 приказан је систем за ласерско мерење профила венца точка [3]. Ласерски добијене слике се аутоматски обрађују компјутерима како би се издвојио профил точка (слика 7).



Сл. 6. Систем за ласерско мерење профила венца точка

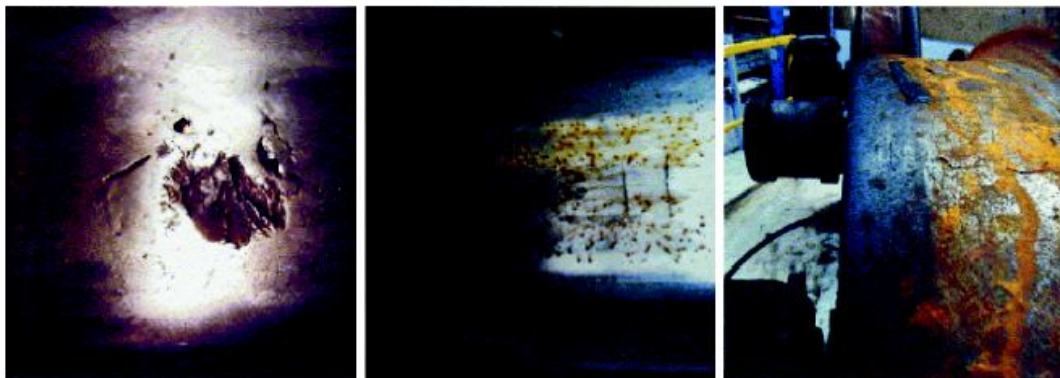
Могуће је мерити параметре као што су: дебљина обруча точка, оштећења на носејој површини точка и висина венца. Могућност предвиђања хабања сваког точка понаособ омогућава служби одржавања да планира проактивно одржавање точкава у циљу обезбеђења максималног животног века осовинских склопова.



Сл. 7. Приказ ласерски снимљеног и стандардног профила венца точка

Оваква мерења профила су такође корисна и за оцену перформанси возила јер неравномерно хабање профила точкава може да потиче од лоших перформанси обртног постоља.

Развој нових дијагностичких система је циљ бројних пројеката који се спроводе у институтима широм света. За праћење отказа на контактної површини точкава железничких теретних кола, у оквиру пројекта “ANEM-ONE” истраживане су технологије мониторинга са оптичким сензорима, инфрацрвеним и радарским сензорима, ласерска детекција, CCD камере и сензори вибрације [8]. Пре утврђивања мониторинг технологије спроведена је анализа очекиваних оштећења на контактної површини точкава (слика 8).



Сл. 8. Уобичајена оштећења на контактним површинама точкава [8]

CCD камера даје слику контактне површине и може детектовати евентуално оштећење поређењем те слике са ранијом сликом неоштећеног стања. Ласерски детектор детектује оштећења или деформације површина помоћу ласерског зрака који мери растојање до површине испитивања анализирајући време рефлектовања сигнала. CCD камера и ласерска техника се успешно користе у мерним станицама инсталираним у терминалима теретног транспорта. Док се теретни воз креће малом брзином кроз терминал, обавља се снимање CCD камером, односно ласерска контрола површина точкава.

Видео технологије се могу користити за мониторинг разних уређаја железничких возила, као што је контрола кочних уметака, детекцију оштећења опруга, неисправности ручне кочнице, оштећења спојница и др.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Нова железничка возила су опремљена бројним сензорима (ОБ дијагностика) помоћу којих се, током експлоатације, врши надзор стања опреме и појединих одговорних склопова. Овакви системи обезбеђују континуирано праћење стања, што је значајна предност, али је висока цена таквих возила велики недостатак. Значајну предност у односу на ове системе имају стационарни дијагностички системи који омогућавају проверу стања свих возила (без обзира на њихову опрему) која пролазе кроз инсталирану мерну станицу. Оваква дијагностика није континуална али се инсталирањем мерних станица на одређеним

растојањима дуж пруге омогућава да се упоредним подацима установи тренд неке појаве тј. отказа.

На Железницама Србије, још увек нема инсталиране ниједне мерне станице тј. стационарног дијагностичког система, док на пругама Термоелектране Никола Тесла постоји од 2006. године мерна станица за утврђивење прегрејаности осовинских лежаја. У циљу унапређења одржавања железничких возила, неопходно је да се на железницама Србије покрене пројект развоја стационарних дијагностичких система.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Schüßler M., Hintze H., Ettlich R., DB AG, Kirchmöser: “Automated and mechanised crack detection equipment for the inspection of railway”, Wheels, WCRR 2001 Cologne Germany, Congress proceedings - Presentation 91, 2001.
- [2] Bannasch, M.; Maly, C.; Saglitz, M.: „Smart and flexible train inspection for high speed passenger traffic“, WCRR 2001 Cologne, Germany, Congress proceedings - Presentation 436, 2001.
- [3] Irani F, Anderson GB, Morgan R: “Development and implementation of wayside detection systems for vehicle health monitoring” WCRR 2003 Edinburgh Scotland; Congress proceedings pp.178-184, 2003.
- [4] Kakui S, Muto Y, Isogawa K, Mano T: Study on some problems about wheel tread, WCRR 2003. Edinburgh Scotland; Congress proceedings pp.93-100, 2003.

- [5] Schöbel A., Karner J.: Components for Wayside Train Observation in Austria, XII Scientific-Expert Conference on Railways "RAILCON '06", p. 25-28, Niš, Serbia, 2006.
- [6] Shingler R., Umiliacchi P: "Advances in railway maintenance: the EuRoMain project" WCRR 2003 Edinburgh Scotland; Congress proceedings p.1364-1369, 2003.
- [7] Stamenković D., Mandić D.: Monitoring Methods in Railway Vehicles Maintenance, 16th International Conference "CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2003", Proceedings pp..261-266, Žilina, Slovakia 2003.
- [8] Zajicek J, Leih D: "Anemone – a monitoring system for rail cars" WCRR 2003 Edinburgh Scotland; Congress proceedings p.166-169, 2003.
- [9]Lagnebäck R.:Evaluation of wayside condition monitoring technologies for condition-based maintenance of railway vehicles, Luleå University of Technology-Sweden, 2007.
- [10] Đorđević Ž., Karner J., Schöbel A., Mirković S.: Merna stanica Batajnica za dinamičku kontrolu železničkih vozila, XIV Naučno-stručna konferencija o železnici "ŽELKON '10", str. 189-193, Niš, 2010.
- [11] Стаменковић Д.: Одржавање железничких возила, Машински факултет Ниш, 2011.
- [12] <http://www.trackiq.com.au>

## STATIONARY DIAGNOSTIC IN RAILWAY VEHICLES MAINTENANCE

**Prof. Dr. Dušan Stamenković  
Goran Petrović, MSc**

*University of Niš, Serbia  
Mechanical Engineering Faculty Niš*

### **Summary**

*On-board and stationary diagnostics have been introduced in order to increase the efficiency of maintenance and availability of railway vehicles. On-board diagnostic system is an integral part of vehicles, while stationary system is installed in the railway workshop or near the rail. The paper gives a brief overview of stationary diagnostics technologies (wayside condition monitoring) that are extensively developed in recent years over the world.*

**Keywords:** *diagnosis, maintenance, railway vehicles*

*Адреса за контакт:*

Проф. др Душан Стаменковић  
Машински факултет у Нишу  
18000 НИШ, А. Медведева 14  
E-mail: [dusans@masfak.ni.ac.rs](mailto:dusans@masfak.ni.ac.rs)