

ALEKSANDAR RADOSAVLJEVIĆ\*, ALEKSANDAR STIJEPIĆ\*\*, VLADIMIR KOKOVIĆ\*\*\*, ĐORĐE BABIĆ\*\*\*\*, VLADAN ORLANDIĆ\*\*\*\*\*

## SAVREMENA DIJAGNOSTIKA ŽELEZNIČKIH VOZNIH SREDSTAVA MODERN DIAGNOSTICS OF RAILWAY ROLLING STOCK

Datum prijema rada: 1.9.2020.

UDK: 629.4.083

### REZIME:

Kvar na osovinskom ležaju železničkog vozila ozbiljan je problem koji često rezultuje kašnjenjem voza i potencijalnim požarima i isključivim očiglednim opasnostima po živote. Do degradacije rada železničkih osovinskih ležajeva dolazi sa porastom buke i vibracija, nakon čega sledi porast temperature. Praćenje stanja u stvarnom vremenu smanjuje neefikasne mere preventivnog i korektivnog održavanja, smanjuje otpad od zamene delova koji još uvek imaju korisni vek trajanja i poboljšava raspoloživost i bezbednost vozničkih sredstava korišćenjem dijagnostike u stvarnom vremenu. U nekim radnim uslovima dolazi do istrošenja elemenata ležajeva koje uzrokuje stvaranje različitih kvarova ležajeva kao što su istrošenja valjčica, unutrašnjih i spoljašnjih prstenova. Ovaj članak prikazuje savremene senzore ugrađene na vozilima, sisteme, metode i tehnike praćenja stanja, sa ciljem definisanja sadašnjeg stanja nauke i mogućnosti njegove potencijalne primene na lokomotive, teretne vagona, putnička kola i električne i dizel motorne vozove. Predstavljen je „pilot projekat“ u Termoelektrani Nikola Tesla Obrenovac.

**Ključne reči:** železnica, bežično, dijagnostika, ležaj, vozna sredstva, održavanje

### SUMMARY:

Rail vehicle axle-bearing failure is a serious issue often resulting in service delays and potentially fire and derailment, with obvious risks to life. The degradation of rail axle bearings occurs with an increase in noise and vibration, followed by an increase in temperature. Real-time condition monitoring reduces inefficient preventive and reactive maintenance actions, decreases waste from replacing parts that still have useful life, and improves availability and safety by real-time rolling stock diagnosis. Under several working conditions, wear and tear of bearing elements occurs and causes the initiation of various bearing faults like a ball, inner and outer rings. This article reviews recent onboard condition monitoring sensors, systems, methods and techniques, aiming to define the present state of the art and its potential application for locomotives, freight wagons, passenger cars and EMU/DMUs. "Pilot project" in Plant Nikola Tesla Obrenovac is presented.

**Key words:** railway, wireless, diagnostics, bearing, rolling stock, maintenance

### 1. UVOD

Savremeno održavanje železničkih vozila (održavanje prema stanju) podrazumeva široku primenu monitoringa i dijagnostičkih postupaka pomoću kojih se vrši nadzor uređaja i sklopova tokom eksploatacije vozničkih sredstava. Na osnovu

registrovanih promena određuje se nivo i vreme intervencije (zamene ili opravke oštećenih delova).

Savremena železnička vozna sredstva su opremljena dijagnostičkom opremom, poseduju veliki broj instaliranih senzora, koji snimaju određene funkcionalne parametre. Međutim, u voznom

\* Dr Aleksandar Radosavljević, dipl. maš. inž, Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6/IV, aleksandar.radosavljevic@sicip.co.rs

\*\* Aleksandar Stijepić, dipl. maš. inž, SKF Commerce, Beograd, Bulevar Mihajla Pupina 10z/1, aleksandar.stijepic@skf.com

\*\*\* Vladimir Koković, dipl. maš. inž, SKF Commerce, Beograd, Bulevar Mihajla Pupina 10z/1, vladimir.kokovic@skf.com

\*\*\*\* Đorđe Babić, dipl. maš. inž, EPS - TENT, Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog 44, djordje.babic@eps.rs

\*\*\*\*\* Vladan Orlandić, dipl. maš. inž, EPS - TENT, Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog 44, vladan.orlandic@eps.rs

parku svih železničkih operatera se nalaze i vozna sredstva starije konstrukcije (vek lokomotive je 30 i više godina), bez fabrički instaliranih senzora, na koja se mogu instalirati određeni savremeni senzori i pratiti njihov rad u eksploataciji.

Dijagnostika obrtnih postolja voznih sredstava je od izuzetnog značaja s obzirom na to da su elementi obrtnog postolja železničkog vozila najodgovorniji za bezbednost. Tako, osovinski sklopovi, kao deo obrtnih postolja, spadaju u delove železničkih vozila koji su veoma značajni za bezbedno odvijanje železničkog saobraćaja [1].

Osovinski ležajevi, kao kritični element bezbednosti, jedna su od najvažnijih komponenti železničkog vozila. Uslovi rada ležajeva su često teški, ali oni su projektovani da rade sa maksimalnom pouzdanošću mnogo godina bez opravke. Da bi se zadovoljilo povećanim zahtevima korisnika za pouzdanošću i bezbednošću razvijaju se nova rešenja. Konstrukcije ležaja opremljene su sensorima koji su integrisani u jedinice ležaja, tako da time daju mogućnost da se mere radni parametri sistema obrtnog postolja.

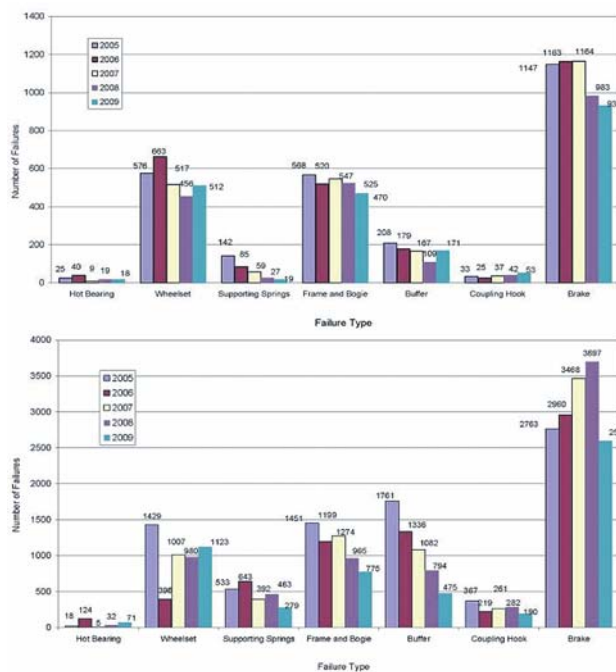
Monitoring vibracija, sa druge strane, ide korak dalje od samog ležaja. Može se i proceniti stanje točka kod pojave odstupanja od kružnog oblika i defekata gazeće površine i tako potencijalno smanjiti potreba za periodičnim pregledima. Sistem kontinualnog monitoringa koji se nalazi na vozilu pruža još jednu, ključnu, karakteristiku – mogućnost da se trenutno detektuje iskliznuće osovinskog sklopa.

## 2. DEFEKTI LEŽAJEVA OSOVINSKIH SKLOPOVA VOZNIH SREDSTAVA

Otkazi ležaja, kao najopterećenijih elemenata, česti su i izazivaju zastoje, a neretko uzrokuju veća oštećenja na osovinskom sklopu. Pre dvadesetak godina, kada je saobraćaj bio znatno intenzivniji nego danas, na Železnicama Srbije se mesečno isključivalo oko 15 vozila zbog otkaza osovinskih ležajeva [2].

Prema [3] broj isključenih putničkih kola iz saobraćaja, zbog pregrejanosti osovinskih ležajeva, na mreži pruga Železnica Srbije, bio je 25 u 2005. godini, 40 u 2006, 9 u 2007, 19 u 2008, a 18 u 2009. godini. Kod teretnih kola taj broj je bio je 18 u 2005. godini, 124 u 2006, 5 u 2007, 32 u 2008, a 71 u 2009. godini. Svi slučajevi su otkriveni na klasičan način radom pregledača kola službe za Tehničko-kolske poslove

Železnice Srbije (sl. 1). Kriterijum koji se primenjuje je da se osovinsko ležište nije toliko zagrevalo da se sklop ne može dodirnuti nadlakticom ruke, da nema tragova ranijeg zagrevanja ili da nema uzroka zagrevanja [4].



Slika 1. Pregled isključenih putničkih i teretnih kola iz saobraćaja 2005-2007. god. (Izvor: [3])

Temperatura osovinskog ležaja je veoma važan parametar na osnovu koga se procenjuje stanje samog ležaja. Neblagovremeno otkrivanje i alarmiranje neispravnosti ležajeva (usled povišene temperature) osovinskih sklopova, mogu dovesti, i često dovode, do havarije u toku kretanja voznog sredstva i velike štete, sl. 2 i 3.



Slika 2. Deformacija rukavca osovine usled pregrejanosti (neispravnosti ležaja) (Izvor: SI CIP [2])



Slika 3. Deformacija kućišta ležaja usled pregrejanosti (neispravnosti ležaja)  
(Izvor: SI CIP [2])

Merni sistem TE „Nikola Tesla” u Obrenovcu za kontrolu pregrejanosti ležajeva u vozu otkrio je temperaturu od 91°C na jednom od kućišta osovinskog ležaja teretnih kola i uključio alarm na alarmnom mestu [5]. Po isključenju datih kola iz eksploatacije, vizuelnim pregledom je utvrđeno da se ležaj ugrejao iznad radne temperature (na sl. 4 se vidi crveno polje na gornjoj strani kućišta ležaja).



Slika 4. Prikaz kućišta pregrejanog ležišta  
(Izvor: SI CIP [2])

Po demontaži kućišta i skidanju ležaja utvrđeno je da je unutrašnji – levi ležaj (sl. 5) oštećen – havarisan od pregrevanja.



Slika 5. Prikaz oštećenog ležaja (levo) i neoštećenog (desno)  
(Izvor: SI CIP [2])

### 3. SAVREMENA REGULATIVA BEŽIČNE DIJAGNOSTIKE VOZNIH SREDSTAVA

Oblast bežične dijagnostike vozni sredstava regulisana je kako tehničkim specifikacijama za interoperabilnost, tako i odgovarajućim evropskim normama i železničkim propisima.

Pravila za hitne slučajeve TSI-SRT [6] zahtevaju da se moraju primeniti eksploataciona pravila praćenja stanja voza pre ulaska u tunel u cilju otkrivanja bilo kakvog defekta koji može dovesti do iskliznuća voza i da se sprovedu odgovarajuće aktivnosti u cilju njihovog otklanjanja.

Zahtevi TSI-SRT odnose se na sve nove i rekonstruisane tunele, locirane na mreži pruga Evropske unije (kako konvencionalne pruge, tako i pruge velikih brzina), dužine 0,1 km i više.

Za sve vozne jedinice, sa projektom maksimalnom brzinom manjom od 250 km/h projektovane za eksploataciju na drugim širinama koloseka nego što je 1.520 mm, mora biti nadgledano stanje osovinskih ležajeva bilo pomoću opreme na vozilu [7] ili korišćenjem opreme instalirane pored pruge [8].

Funkcionalni i tehnički zahtevi koji se odnose na otkrivanje pregrianih osovinskih ležajeva, a u vezi bezbednosti tunela, podsistema vozni sredstava definisani su u TSI- LOC&PAS [9].

Analizom zahteva navedenih tehničkih specifikacija za interoperabilnost i evropskih normi može se ustanoviti njihova funkcionalna zavisnost.



## 4. BEŽIČNA DIJAGNOSTIKA VOZNIH SREDSTAVA

### 4.1. Održavanje prema stanju osovinskih ležajeva

Preovlađujući režim održavanja u železničkoj industriji je servisiranje vozova zasnovano na vremenu ili pređenom broju kilometara. Iako se uspešno primenjuje već duži niz godina, ovaj pristup održavanju ne uzima u obzir stvarno stanje delova koje treba zameniti, što je i glavni nedostatak ovog načina održavanja.

Smanjenju troškova održavanja posvećuje se velika pažnja u železničkoj industriji. Iz tog razloga, zahtevi za povećanjem intervala održavanja osovinskih ležajeva u radu su uobičajeni. Značajne ekonomske uštede mogu se ostvariti produženjem intervala održavanja ležajeva, odlaganjem aktivnosti održavanja ležajeva i usklađivanjem sa drugim aktivnostima održavanja [10].

Održavanje prema stanju može pomoći u postizanju ovog cilja na dva osnovna načina: identifikacijom potencijalnih problema u ranoj fazi što smanjuje rizik od pojave otkaza, a sa druge strane može utvrditi kada su ležajevi u eksploataciji bez oštećenja, što omogućava produžavanje intervala održavanja što je duže moguće.

Održavanje prema stanju, bazirano na merenju parametra kao što su vibracije i temperatura za detekciju predstojećih otkaza ležajeva u ranoj fazi već dugo se primenjuje u mnogim granama industrije. Međutim, železnički sektor ga polako usvaja, delom zbog bezbednosnih propisa koji ga regulišu, ali i zahvaljujući entuzijazmu pojedinaca. Šteta je što to nije sistemski planirano i zasnovano na ekonomskoj opravdanosti - studiji izvodljivosti i sl.)

SKF Insight Rail (sl. 6) predstavlja gotov, komercijalno dostupan bežični sistem za održavanje prema stanju, koji se može naknadno ugraditi na osovinski sklop.

SKF Insight Rail senzor može se ugraditi za nekoliko minuta postavljanjem jednog zavrtnja koji pričvršćuju poklopac kućišta osovinskog ležaja na svoje mesto (sl. 7).



Slika 6. SKF Insight Rail senzor  
(Izvor: SKF)



Slika 7. Montaža SKF Insight Rail senzora  
(Izvor: SKF)

SKF Insight Rail bežični senzori omogućavaju merenje dijagnostičkih parametara stanja ležaja, SKF Acceleration Enveloping (gE) parametra i temperature. Pored toga, bežična jedinica je opremljen GPS-om za tačno lociranje senzora i očitavanje brzine voznog sredstva u trenutku merenja. Svaki SKF Insight Rail senzor može se daljinski konfigurisati tako da zadovolji specifične potrebe korisnika za praćenjem stanja, u zavisnosti od režima rada vozničkih sredstava na koje se montira. Primenom integrisane baterije izbegava se potreba za kablovima za napajanje i nudi pouzdan, predvidiv, dugotrajan izvor napajanja.

SKF Insight Rail senzor detektuje male promene signala vibracija koje su indikacija pojave oštećenja ležajeva, uprkos tome što se ležajevi nalaze u veoma bučnom okruženju u kome je prisutan veliki broj različitih izvora generisanja vibracija. Sofisticirani algoritmi za obradu signala vibracija odvajaju koristan deo signala od buke iz okruženja, osiguravajući da svaki senzor daje odgovarajuće podatke za dalju analizu.

SKF Acceleration Enveloping (gE) je metoda za obradu signala vibracija koja dugogodišnjom primenom dokazano obezbeđuje ranu indikaciju oštećenja ležajeva. Napredna obrada i praćenje trenda rezultata merenja se zatim vrši primenom softvera SKF @plitude Observer. Na ovaj način moguće je ne samo detektovati postojanje oštećenja, već i utvrditi koja

komponenta ležaja je oštećena (kotrljajni elementi, kavez, spoljašnji prsten, unutrašnji prsten). Da bi se signal vibracija klasifikovao kao simptom oštećenja ležajeva, periodična aktivnost mora biti dosledno prisutna u rezultatima merenja, dovoljno velike amplitude i na vrlo specifičnim frekvencijama.

Merenje temperature obezbeđuje znatno kasnije upozorenje na pojavu oštećenja ležajeva u poređenju sa SKF Acceleration Enveloping (gE) parametrom, sa naglim i trajnim porastom temperature koji ukazuje na pojavu otkaza u kratkom vremenskom periodu. Uključivanje rezultata merenja temperatura zamišljeno je kao dopuna rezultatima merenja vibracija, odnosno praćenju SKF Acceleration Enveloping (gE) parametra koji čini srž analize stanja ležajeva.

Pored praćenja stanja ležajeva, sistem takođe omogućava detektovanje ravnih mesta na krugu kotrljanja točkova koji, ako se ne detektuju na vreme, mogu prouzrokovati i oštećenje pruge. Obično se pojava ravnosti točkova nadgleda pomoću detektora uz prugu, ali SKF Insight Rail takođe može da omogući ovu veoma važnu operaciju.

SKF Insight Rail omogućava daljinsko praćenje stanja. Senzori prenose rezultate merenja posredstvom mreže mobilne telefonije. Svi rezultati merenja se čuvaju u SKF Cloud-u. Prema tome, nema potrebe za postavljanjem glomaznog rutera i kablova na voznom sredstvu (sl. 8).



Slika 8. Daljinsko praćenje stanja lokomotive 441-06 TENT Obrenovac (Izvor: SKF)

Železnički operatori ne žele da pregledaju velike količine podataka i da ih tumače. Umesto toga, oni žele jasne preporuke za preduzimanje aktivnosti održavanja. Dakle, kada se rezultati merenja obrade i analiziraju, oni se koriste za izradu jednostavnog izveštaja.

SKF je u prethodnom periodu u značajnoj meri optimizovao količinu podataka koja se dostavlja korisniku i u najvećoj mogućoj meri smanjio broj eventualnih lažnih alarma. Automatski alarm upozorava na potrebu za sprovođenjem aktivnosti održavanja. Nakon toga, SKF specijalisti proveravaju rezultate merenja i pripremaju izveštaj sa konkretnim preporukama.

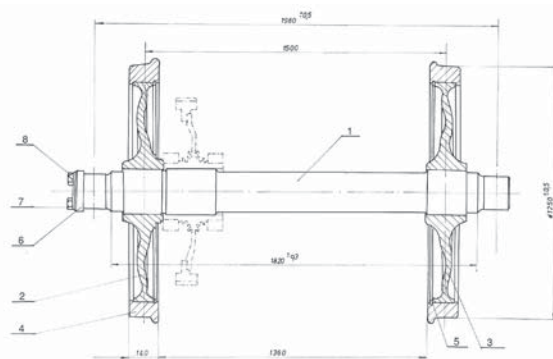
#### 4.2. Osovinski ležajevi električne lokomotive serije 441

Električne lokomotive serije 441 su univerzalne četvorosovinske diodne lokomotive za jednofazni napon napajanja 25 kV, 50 Hz.

Elektrolokomotivu serije 441 izgradila je ujedinjena firma „Traktion - Union” koju su sačinjavale sledeće firme: ASEA iz Švedske, Secheron iz Švajcarske i Elin-Union iz Austrije. Sklopove je montirala firma Simmering - Graz Pauker iz Austrije. Kasnije je proizvodnju preuzeo „Rade Končar” iz Zagreba po licenci firme ASEA gde su, kao i u fabrici „MIN” Niš, urađene mnogobrojne modifikacije.

Za potrebe železnica bivše Jugoslavije proizvedeno je oko 300 lokomotiva serije 441 i raspoređene su u četiri železničko-transportna preduzeća: Beograd, Zagreb, Sarajevo i Skoplje (8 lokomotiva je proizvedeno za termoelektranu „Nikola Tesla” u Obrenovcu). Prve lokomotive su puštene u saobraćaj 1969. godine.

Na osovini lokomotive serije 441 (sl. 9) nalaze se dva konična sedišta (1:700) za navlačenje diskova točkova (u toplom ili hladnom stanju), kao i jedno cilindrično sedište  $\Phi 230$  za navlačenje glavčine zupčanika reduktora u toplom stanju.



Slika 9. Osovinski sklop lokomotive serije 441 (Izvor: SI CIP [6])

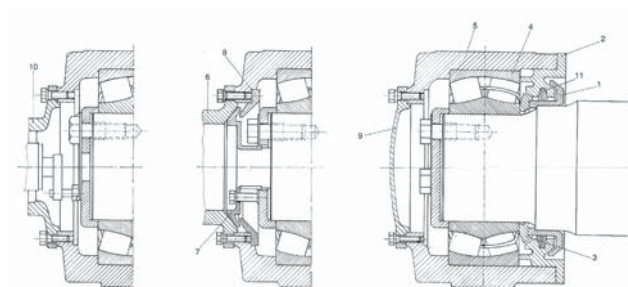
Na oba kraja osovine nalazi se po jedno cilindrično sedište  $\Phi 170$  r6 za unutrašnje prstenove samopodesivih valjkastih ležajeva.

Na obe čeonu strane osovine postoje tri otvora sa navojem M24x55, za zavrtnjeve ploče (7) za osiguranje ležaja, kao i tri otvora sa navojima M12x35 za učvršćivanje kontakta za uzemljenje.

Osovinsko ležište se sastoji iz sledećih delova:

1. labirintski prsten,
2. unutrašnji poklopac ležišta,
3. odstojni prsten,
4. valjkasti samopodesivi ležaj,
5. kućište osovinskog ležišta,
6. kućište četkica za uzemljenje,
7. sigurnosna ploča,
8. zaptivka,
9. spoljni poklopac ležišta i
10. kućište davača brzinomera.

Težina lokomotive se na osovine prenosi preko osam samopodesivih ležaja (4) (sl. 10). U svako osovinsko ležište ugrađen je po jedan samopodesivi osovinski ležaj 23234 c/c3. Oznaka 23234 odnosi se na tip i veličinu ležaja, „c” na varijantu sa uzanim labavim prstenom za vođenje između valjaka – burića, a „c3” na zazor ležaja. Unutrašnji prsten valjkastog ležaja i osovinski rukavac  $\Phi 170$  r6 čine presovani sklop. On se fiksira aksijalno na naslon osovine pomoću sigurnosne ploče (7) i odstojnog prstena (3) [11].



Slika 10. Osovinsko ležište  
(Izvor: SI CIP [6])

Zbog svoje važnosti, u okviru redovne opravke, osovinski ležajevi se demontiraju i zamenjuju novim. Novougrađeni ležajevi se obeležavaju (mesec i godina ugradnje). Kućišta osovinskih ležajeva se demontiraju, odmaščuju, pregledaju i na kraju ponovo ugrađuju. Shodno programu ispitivanja, osovinski sklop sa reduktorom i kućištima

osovinskih ležajeva, ispituje se na probnom stolu pri čemu se, između ostalog, mere temperatura i buka osovinskih ležajeva (sve izmerene vrednosti se unose u odgovarajuću mernu listu).

### 4.3. Dijagnostika na električnoj lokomotivi serije 441-06 TENT Obrenovac

Kompanije EPS, Ogranak TENT Obrenovac i SKF Commerce d.o.o. tokom 2019. god., dogovorile su ugradnju SKF InsightRail senzora za merenje vibracija i temperature na električnoj lokomotivi serije 441-06 vlasništvo TENT Obrenovac (sl. 11).



Slika 11. Lokomotiva 441-06 TENT Obrenovac  
(Izvor: TENT&SKF)

Nakon određenog vremena eksploatacije ležajevi su demontirani sa lokomotive, rastavljeni, očišćeni i detaljno pregledani [12].

Na ležaju SKF 23234 CC/C3W33 (godina proizvodnje 2006, a ugradnje na lokomotivu 2015. godina), koji je bio ugrađen na trećoj osovine gledajući sa A strane lokomotive (pozicija 3RH), uočena su sledeća oštećenja (sl. 12):

1. Spoljašnji prsten
  - oštećenja usled proboja struje u vidu talasastih površina kotrljajnih staza vidljiva u celoj zoni kontakta,
  - ljušpanje materijala na kotrljajnoj stazi u zoni kontakta, na jednom mestu ljušpanje toliko duboko da bi, verovatno, došlo do loma prstena,
  - kontaktna korozija na spoljašnjoj površini.
2. Unutrašnji prsten
  - oštećenja usled proboja struje u vidu talasastih površina kotrljajnih staza vidljiva po celom obimu jedne kotrljajne staze,
  - ljušpanje materijala po kotrljajnim stazama, više izraženo na jednoj stazi (na onoj na kojoj postoje tragovi proboja struje),
  - kontaktna korozija po unutrašnjoj površini koja ukazuje na loš kontakt sa rukavcem osovine.



### 3. Valjčići

- izrazito zatamljenje površina valjčića,
- ljušpanje materijala vidljivo na 7 valjčića,
- talasasta površina usled proboja struje (približno 30 % valjčića),
- na pojedinim valjčićima vidljivi tragovi korozije usled zastoja u radu (stand steel corrosion).



Slika 12. Fotografije ležaja SKF 23234 CC/C3W33, pozicija 3RH (Izvor: SKF&TENT [12])

Na ležaju SKF 23234 CC/C3W33 (godina proizvodnje 2006. godina, godina ugradnje na lokomotivu 2015. godina) koji je radio na trećoj osovini, gledajući sa A strane lokomotive (pozicija 3LH), uočena su sledeća oštećenja (sl. 13):

#### 1. Spoljašnji prsten

- mestimični tragovi korozije usled proboja vode i korozije nastale tokom zastoja u radu,
- vidljiva kontaktna korozija na spoljašnjoj površini (cca. po 1/3 obima)

#### 2. Unutrašnji prsten

- mestimični tragovi korozije usled proboja vode i korozije nastale tokom zastoja u radu, na nekoliko mesta vidljivo da su tragovi na rastojanju valjčića u kavezu,
- izrazita sjajnost kotrljajne staze („kao ogledalo“), što ukazuje na prisustvo finih abrazivnih čestica u mazivu,

- vidljiva kontaktna korozija na spoljašnjoj površini (cca. po 1/3 obima), na par mesta korozija je dublja i može se osetiti „pod noktom“.

### 3. Valjčići

- gotovo svi sa nepravilnim tragovima korozije,
- izrazita sjajnost površine, što ukazuje na prisustvo finih abrazivnih čestica u mazivu.



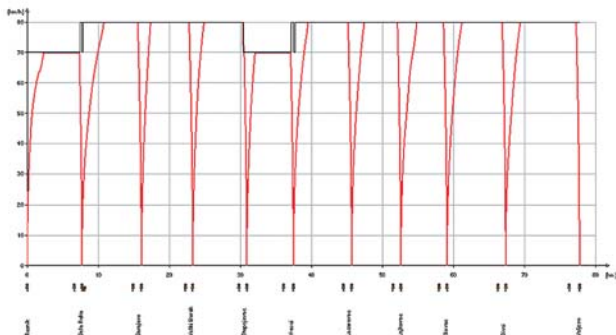
Slika 13. Fotografije ležaja SKF 23234 CC/C3W33, pozicija 3LH (Izvor: SKF&TENT [12])

Na prikazani način nedvosmisleno je potvrđena funkcionalnost SKF InsightRail sistema u detekciji oštećenja ležajeva, a čijim korišćenjem se unapređuje nivo održavanja, kao i pouzdanost i sigurnost rada voznih sredstava.

Uslov da se uzorkovanje podataka brzine, temperature i vibracija vrši pri konstantnoj brzini voza nije teško postići jer se mašinovođe, tokom školovanja, obučavaju da, što je moguće duže, voze konstantnom brzinom.

Naime, mašinovođa mora, po pravilu, da tačno održava propisano vreme vožnje i da vozi što ravnomernijom brzinom, vodeći računa da ne sme prekoračiti maksimalnu brzinu određenu redom vožnje za taj voz [13].

Na sl. 14 dat je primer vožnje kako mašinovođa treba da održava konstantnu brzinu između stanica u kojima se, po redu vožnje, zaustavlja.

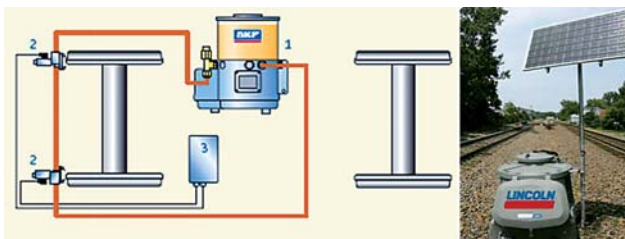


Slika 14. Vožnja voza ravnomernom brzinom (Izvor: Radosavljević A. – interne simulacije)

Kao primer ugradnje savremene dijagnostičke opreme na nova vozna sredstva navodi se primer hrvatskog operatera putničkog saobraćaja. HŽ Putnički prijevoz d.o.o. i KONČAR Električna vozila d.d. potpisali su aprila 2020. god. ugovor o isporuci 12 elektromotornih vozova (EMV) za gradsko-prigradski i regionalni saobraćaj (2x6 četvorodelnih kompozicija  $V_{max} = 160$  km/h) koji će biti isporučeni 2021. i 2022. god. Ugovorom između firmi KONČAR Električna vozila d.d. i SKF predviđena je ugradnja razne opreme SKF-a iz železničkog segmenta, među kojima su i jedinice osovinskih ležajeva sa sensorima [14].

#### 4.4. Stacionarni uređaji za podmazivanje kontakta točak/šina

Savremeni uređaj za podmazivanje firme LINCOLN (električni) sastoji se od pumpne stanice, senzora točka (brojača osovina), uređaja za raspodelu masti sa četkom, solarnim panelom za napajanje električnom energijom i ormanom sa akumulatorima smeštenim na stubu (ili nekom drugom prikladnom mestu) pored pruge (sl. 15) [15, 16].



Slika 15. Uređaj za podmazivanje LINCOLN (Izvor: SKF-LINCOLN [9])

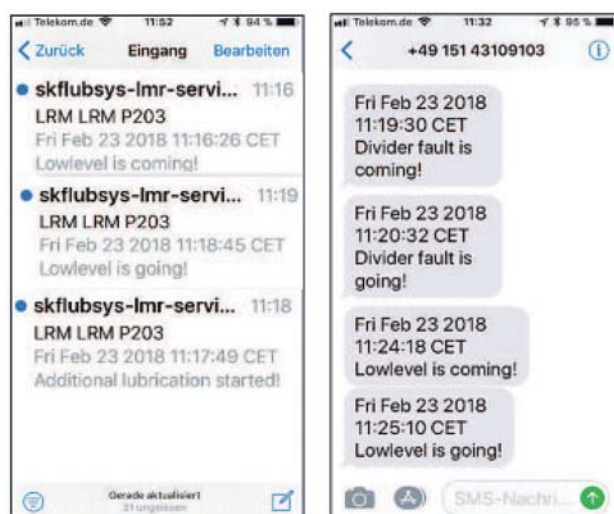
Uređaj za podmazivanje LINCOLN se primenjuje kako za redovnu eksploataciju na železnici, tako i za tramvaje, gradsku, prigradsku i podzemnu železnicu (metro).

Uređaj LRM2 za daljinsko (bežično) praćenje podmazivanja (sl. 16) na ugrađenim stacionarnim uređajima služi za obezbeđivanje komunikacije između korisnika i pumpe za podmazivanje. Uređaj je namenjen za primenu na sistemima za podmazivanje koji se ne mogu lako obilaziti i proveravati da li uređaj ima ili nema maziva ili da li efikasno radi.



Slika 16. LRM2 uređaj za daljinsko praćenje podmazivanja (Izvor: SKF-LINCOLN [17])

Ukoliko uređaj ne radi ili nema maziva za podmazivanje LRM2 uređaj šalje bežično signal korisniku ili preko SMS-a ili preko e-mejla (sl. 17). Jedan uređaj LRM2 prati rad do tri pumpe za podmazivanje tako da se znatno smanjuje potreba za neposrednim obilaskom uređaja za podmazivanje na terenu, a istovremeno se, iz jednog udaljenog mesta za praćenje rada uređaja, ima uvid u efikasan rad uređaja za stacionarno podmazivanje kontakta točak/šina [17].



Slika 17. Primer elektronske i SMS poruke (Izvor: SKF-LINCOLN [17])

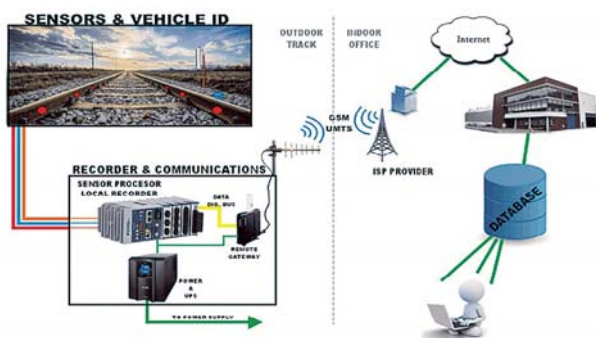


#### 4.5. Stacionarni uređaji za dijagnostiku stanja obrtnih postolja u depou

Sistem za dijagnostiku obrtnih postolja voznih sredstava je potpuno automatska tehničko-pregledna jedinica za utvrđivanje stanja točkova, kočnih umetaka i papuča železničkih vozila u eksploataciji. Ovaj način praćenja tehničkog stanja je jedan od preduslova za odgovarajuće održavanje voznih sredstava i povećanje njihove raspoloživosti.

Sistem, u principu, sadrži sledeće module za dijagnostiku stanja osovinskog sklopa: odstupanje od kružnosti točka i otkrivanje ravnih mesta, merenje prečnika točka, merenje profila točka i unutrašnjeg rastojanja između točkova, praćenje istrošenosti kočnih umetaka i kočnih papuča.

Firma NEM Solutions je razvila jedan takav sistem A.U.R.A. Wheel za sve vrste voznih sredstava i koristi se za tramvaje, laku železnicu, podzemne/nadzemne metroe, prigradsku železnicu, daljinske vozove, vozove velikih brzina, lokomotive i teretna kola [18]. Ovaj sistem vrši više od 26 miliona merenja točka vozila na više od 40.000 vozila (sl. 18). Sistem se bazira na održavanju prema stanju vozila i ranom otkrivanju potencijalnog defekta vozila.



Slika 18. Koncept rešenja A.U.R.A. Wheel  
(Izvor: [www.cetestgroup.com](http://www.cetestgroup.com))

Sistem je tako koncipiran da se posle snimanja podaci preko interneta prenose do A.U.R.A Wheel sistema i posle obrade se vraćaju nazad korisniku koji preduzima odgovarajuće mere. Dakle, ovaj sistem koristi bežični prenos podataka.

### 5. ZAKLJUČAK

Bežična dijagnostika rada sklopova i uređaja na voznim sredstvima već sada predstavlja standard

u održavanju prema stanju železničkih voznih sredstava kod operatora železničkog saobraćaja koji prate savremene trendove u održavanju voznih sredstava.

Pored investiranja u senzore, dijagnostičke uređaje i softver potrebno je, npr. nakon instaliranja uređaja za bežično praćenje rada osovinskih ležajeva, dodatno obratiti pažnju mašinovođama (kroz redovno i dodatno školovanje) da, što je moguće više, voze ravnomernom brzinom voza kako bi se omogućilo uređaju da se ispravno aktivira i ispravno očitaju tražene vrednosti.

Dosadašnje široko rasprostranjene metode za otkrivanje kvarova osovinskih ležajeva u toku eksploatacije su detektori pregrejanih osovinskih ležajeva smešteni pored pruge i detektori akustike ležajeva. Detektori akustike ležajeva prate emisiju buke vozova koji prolaze i otkrivaju karakteristični signal oštećenog ležaja dok detektori pregrejanih osovinskih ležajeva smešteni pored pruge otkrivaju znatno zagrevanje osovinskih ležajeva u veoma kasnoj fazi oštećenja ležaja. Ovi uređaji otkrivaju oštećenje ležaja u finalnoj fazi pre katastrofalnog kvara, tako da se vozovi odmah zaustavljaju da bi se sprečile železničke nezgode. Detektori akustike ležajeva otkrivaju oštećenja znatno ranije od uređaja koji su zasnovani na merenju temperature. Oni koriste frekvenciju zvuka da bi otkrili oštećenu komponentu ležaja.

Metoda bežičnog praćenja stanja ležajeva pomoću instaliranih senzora, nasuprot navedenim metodama, otkriva kvarove na ležajevima još u početnoj, inicijalnoj, fazi što omogućava produženi vek eksploatacije ležajeva do svojih krajnjih mogućnosti, tako da se ležajevi ne moraju menjati po pređenoj kilometraži ili vremenu eksploatacije već na osnovu praćenja stanja ležajeva u realnom vremenu.

Da bi sistem održavanja bio plodotvoran i ekonomski racionalan nužno je da sve pojedinačne aktivnosti budu osmišljene i međusobno usklađene. U ostvarivanju ovih složenih zadataka neophodno je da se primenjuju odgovarajuće metode rada, zasnovane na naučnim saznanjima i iskustvima, a kadrovi, koji će na njima raditi, moraju da budu posebno, dodatno, obrazovani i obučeni.

Ugradnjom sistema bežičnog prenosa podataka na železnici postižu se višestruki, ekonomski opravdani, efekti:

- rano otkrivanje oštećenih delova voznih sredstava,
- smanjenje troškova kod zamene još upotrebljivih delova,
- smanjenje imobilizacije voznih sredstava,
- povećanje pouzdanosti samog transporta usled smanjenja rizika od havarija i vanrednih događaja.

### LITERATURA

- [1] Direkcija za železnice: *Pravilnik o održavanju železničkih vozila*, Beograd, 2015.
- [2] SI CIP: *Povećanje efikasnosti sistema održavanja voznih sredstava JP „ŽELEZNICE SRBIJE”*, Knjiga V, Beograd, 2005.
- [3] Radosavljević A, Đorđević Ž, Mirković S: *Concept for Wayside Train Monitoring at Serbian Railways - pilot project Batajnica*, European Rail Technology Review Special - Wayside Train Monitoring Systems, pp. 6-11, 2011.
- [4] ZJŽ: *Uputstvo za pregledače kola (Uputstvo 253)*, Beograd, 2006.
- [5] Institut Nikola Tesla: *MEROS Stacionarni sistem za merenje temperature osovinskih ležajeva u pokretu*, Beograd, 2006.
- [6] TSI 1303/2014: Tehničke specifikacije interoperabilnosti koje se odnose na „bezbednost u železničkim tunelima“ železničkog sistema Evropske unije (Technical specification for interoperability relating to Safety in Railway Tunnels - SRT)
- [7] SRPS EN 15437-2: Primene na železnici - Nadzor stanja kućišta osovinskih ležajeva - Konstrukcioni zahtevi - Deo 2: Zahtevi za karakteristike i konstrukcioni zahtevi za sisteme za nadzor temperature koji su ugrađeni na vozilo (Railway applications. Axlebox condition monitoring. Interface and design requirements. Performance and design requirements of on-board systems for temperature monitoring)
- [8] SRPS EN 15437-1: Primene na železnici - Nadzor stanja kućišta osovinskih ležajeva - Konstrukcioni zahtevi - Deo 1: Stabilni uređaji za otkrivanje pregrejanosti kućišta osovinskih ležajeva i oblik kućišta (Railway applications - Axle box condition monitoring-Interface and design requirements - Part 1: Track side equipment and rolling stock axle box)
- [9] TSI 1302/2014: Tehničke specifikacije interoperabilnosti koje se odnosi na podsistem „vozna sredstva - lokomotive i putnička železnička vozila“ železničkog sistema u Evropskoj uniji, (Technical specification for interoperability relating to the rolling stock - locomotives and passenger rolling stock subsystem of the rail system in the European Union (Rolling Stock - Locomotives and Passenger Rolling Stock - LOC&PAS)
- [10] Maurizio Martinetti, Filip Rosengren , Nils Ekholm: *Maintenance interval extension evaluation for railway wheel-set bearings*, 12th International Heavy Haul Conference, (IHHA 2019), Achieving breakthrough performance levels, Narvik, Norway, 12-14 June, 2019,
- [11] SI CIP: *Povećanje efikasnosti sistema održavanja voznih sredstava JP „ŽELEZNICE SRBIJE”*, Knjiga II – Pregled stanja i analiza defekata voznih sredstava, Beograd, 2005.
- [12] SKF&TENT, *Zapisnik pregleda ležajeva*, Beograd, 07.07.2020.
- [13] ZJŽ: *Uputstvo za rad osoblja vučnih vozila (Uputstvo 246)*, Beograd, 1991.
- [14] <https://railway-news.com/croatian-railways-koncar-kev-12-emus/>
- [15] Radosavljević A: *Uređaji za podmazivanje dodira točak-šina na prugama u Srbiji*, ŽELEZNICE, Br. 62-1, pp. 52-63, 2018.
- [16] SKF-LINCOLN: *Stationary rail lubrications systems for the main line rail infrastructure*, [http://www.lincolnindustrial.com/Catalogs/Uploaded/Catalog\\_88/Railroad\\_W-183-EN-0511.pdf](http://www.lincolnindustrial.com/Catalogs/Uploaded/Catalog_88/Railroad_W-183-EN-0511.pdf), 2012.
- [17] SKF-LINCOLN: *Lubrication Remote Monitor LRM2*, <https://www.skf.com/group/products/lubrication-management/system-components/control-units-software/lrm2>, 2018.
- [18] <https://www.railway-technology.com/contractors/track/nem-solutions/>