

PRIOLOG ISTRAŽIVANJU UZROKA OŠTEĆENJA LEŽAJA I RUKAVCA OSOVINA TERETNIH VAGONA U ŽRS I PREPORUKE ZA DETEKCIJU

Veljko Vuković¹, Zoran Stjepanović², Svetozar Bugarin³, Darko Stjepanović⁴

Rezime: Otkaz ležaja osovinskog sklopa spada među najčešće uzroke loma rukavca osovine i iskliznuća željezničkih vozila koja su uglavnom praćena ogromnom materijalnom štetom i ljudskim žrtvama. Na osnovu raspoložive dokumentacije (slika, opisa događaja itd.) autori rada su izvršili analizu uzroka otkaza osovinskog uležištenja kod teretnih vagona koji su se desili u Željeznicama RS, poslednjih deset godina. Istraživanjem su obuhvatili i tehnološki proces održavanja osovinskih uležištenja koji ima veliki uticaj na pouzdanu eksploataciju. Analizom istraživanja slučajeva loma rukavca osovine, autori su dali preporuku da je uvođenje sistema detekcije za kontinualno praćenje temperature ležajeva neminovno za sve vagone, a posebno za vagone starije dobi, kako bi postigli pouzdanost osovinskog uležištenja procesom eksploatacije. Dobijeni rezultati, sistematizovani u radu, mogu biti značajni za sve one koji se bave ovakvim i sličnim problemima, odnosno problemima razvoja, eksploatacije i održavanja željezničkih vozila, strategijama, propisima, itd.

Ključne riječi: željezničko vozilo, otkaz ležaja, osovinski sklop, temperatura, detekcija.

CONTRIBUTION TO THE INVESTIGATION OF THE CAUSES OF BEARING AND AXLE JOURNAL DAMAGE IN FREIGHT WAGONS OF ŽRS AND RECOMMENDATIONS FOR DETECTION

Abstract: Failure of axle bearing assemblies ranks among the most common causes of axle journal fractures and derailments of railway vehicles, incidents often accompanied by substantial material losses and, in some cases, human casualties. Based on available documentation (photographs, event reports, etc.), the authors conducted an analysis of the causes of axle bearing failures in freight wagons within the Railways of the Republic of Srpska (ŽRS) over the past decade. The research also encompassed the technological process of axle bearing maintenance, which plays a crucial role in ensuring reliable operation. Through case studies of axle journal fractures, the authors propose that the implementation of continuous temperature monitoring systems for bearing detection is essential, particularly for older wagons, in order to enhance the operational reliability of axle assemblies throughout their service life. The findings presented and systematized in this study may serve as valuable guidance for professionals engaged in the development, operation, and maintenance of railway vehicles, as well as those involved in the formulation of strategies, standards, and regulations in the railway sector.

Key words: railway vehicle, bearing failure, axle assembly, temperature monitoring, detection.

1. UVOD

Otkaz ležaja osovinskog sklopa je jedan od najčešćih uzroka iskliznuća i vanrednih događaja u Željeznicama RS, a i u opšte u željeznicama država u okruženju. On dovodi do otkaza pravilnog funkcionisanja osovinskog sklopa, što uglavnom izaziva iskliznuće datog željezničkog vozila iz sastava voza, a veoma često i velikog dela kompozicije, sa katastrofalnim posledicama. Železničke uprave u okruženju, ovom problemu nedovoljno posvećuju posebnu pažnju ne razvijajući odgovarajuće tehničke sisteme za detektovanje neispravnosti ležajeva koja se uglavnom manifestuje povećanjem njegove temperature. U radu su obrađeni neki slučajevi iskliznuća vagona iz sastava voza u Željeznicama RS gdje je uzrok oštećenje rukavca i unutrašnjeg prstena ležaja analiziran kao uzrok nastajanja termodinamičkog procesa i loma rukavca osovine.

Konačan cilj ovog naučnog rada je upoznavanje sa problematikom održavanja ležajeva i njihovim značajem sa aspekta bezbjednosti željezničkog saobraćaja. Date su preporuke za detekciju neispravnosti ležajeva u ranoj fazi otkrivanja procesom eksploatacije, teretnih vagona koji su u sistemu Željeznica RS,

¹Prof. dr Veljko Vuković, Evropski univerzitet Brčko distrikt, e-mail: v.velja@gmail.com

²Mr Zoran Stjepanović, Evropski univerzitet Brčko distrikt, e-mail: stjepanovicz@hotmail.com

³Mr Svetozar Bugarin, Evropski univerzitet Brčko distrikt, e-mail: svetozar.bugarin@zelvoz.rs

⁴Msc Darko Stjepanović, Evropski univerzitet Brčko distrikt, e-mail: darko-s29@hotmail.com

čime se omogućava pravovremeno reagovanje i sprečavanje potencijalnih lomova osovinskih rukavaca i iskliznuća vozova iz kološjeka.

2. KONSTRUKCIJA ULEŽIŠTENJA OSOVINSKOG SKLOPA

2.1. Osovinski sklop

Osovinski sklopovi vagona su delovi kola od kojih najviše zavisi bezbednost saobraćaja. Spadaju u grupu vitalnih mašinskih konstruktivnih elemenata železničkog vučnog i vučenog voznog sredstva. U samom tehničkom sistemu obezbeđuju neposredni kontakt vozila sa šinom i upravljaju kolima. Od stanja cjelokupnog osovinskog sklopa, u prvom redu, zavisi bezbjednost i sigurnost, a zatim i mirnoća hoda vozila. Zbog toga se mora posvetiti posebna pažnja prilikom održavanja osovinskog sklopa. Osovinski sklopovi željezničkih vozila izloženi su opterećenjima:

- mase sanduka kola,
- mase tereta,
- mase obrtnog postolja,
- mase delova koji su neposredno ugrađeni na osovinske sklopove,
- vertikalnim i horizontalnim udarnim silama, koje nastaju usled neravnina na površini kotrljanja,
- termičkim silama usled kočenja.

Na osovinskim sklopovima tokom eksploatacije javljaju se kvarovi, koji izuzetno nepovoljno mogu uticati na sigurnost u saobraćaju. Kvarovi ili defekti, mogu se grupisati u dvije vrste i to u kvarove usled nenormalnog istrošenja dijelova osovinskog sklopa, te oštećenja i defekti na delovima kućišta ležaja osovinskog sklopa.



Slika 1- Osovinski sklop za teretne vagona

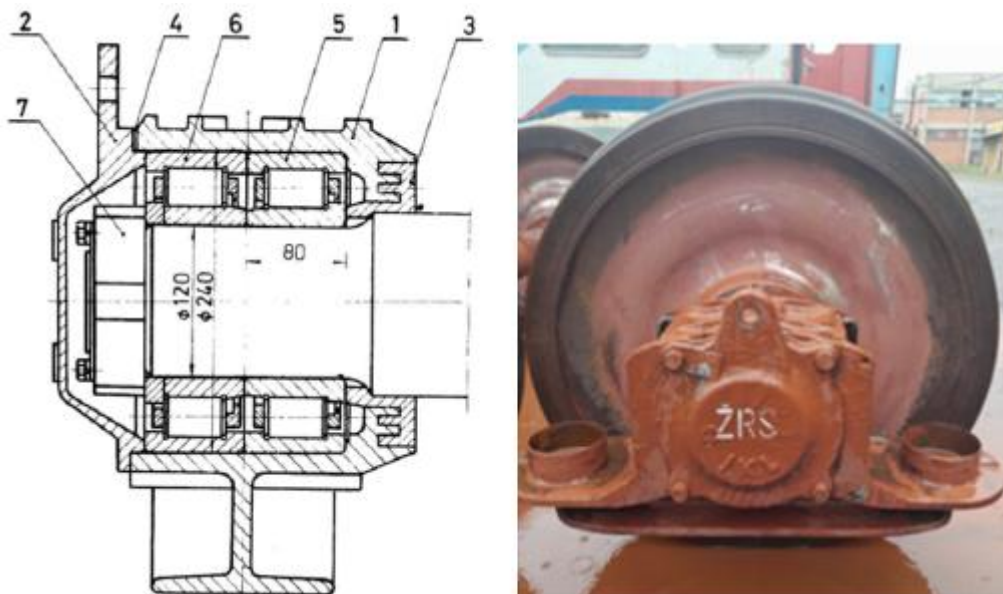


Slika 2 - Rukavac i osovinski sklop sa navučenim prstenom ležaja

2.2. Kućište sa ležajem osovinskog sklopa

Kućište sa ležajevima spadaju među najodgovornije elemente osovinskog sklopa železničkih vozila. U toku eksploatacije, ovi mašinski elementi izloženi su veoma intenzivnim opterećenjima i od njihove pouzdanosti zavisi, ne samo pouzdanost osovinskog sklopa, već indirektno i kompletnog voza. Ležajevi su smješteni u odgovarajuća kućišta preko kojih se vrši prenos opterećenja na rukavce osovine i ograničava podužno i poprečno pomjeranje osovinskih sklopova. Elementi uležištenja se po pravilu nalaze sa spoljašnje strane točkova osovinskih sklopova. Kod savremenih tipova željezničkih vozila koriste se isključivo kotrljajni ležajevi, dok se klizni ležajevi mogu sresti samo kod starijih vozila koja se manje koriste u komercijalnom železničkom saobraćaju. Postoji više različitih konstruktivnih rješenja

uležištenja koja uglavnom zavise od tipa željezničkog vozila. Međutim, važno je naglasiti da se sva rješenja baziraju na sličnom konceptu. Tipično rješenje ležišta osovinskog sklopa za normalnu širinu kolosjeka prikazano je na slici 3. Na rukavcu prečnika 120mm su ugrađena valjkasta ležišta tipa WJ 120 x 240 (bez bočnog prstena pz-5) i WJP 120 x 240 (sa bočnim prstenom, poz.-6).



Slika 3 - Tipično konstruktivno rješenje uležištenja osovinskog sklopa za normalnu širinu kolosjeka

Sklop ležaja čine: 1- kućište; 2- poklopac; 3- labirintski prsten; 4 - zaptivač; 5 - valjkasti ležaj WJ; 6- valjkasti ležaj WJP; 7 - osiguranje – dijelovi

Unutrašnji prsten ležaja napresovan je na rukavac osovine i obrće se zajedno sa njim. Kućište se preko svojih unutrašnjih površina oslanja na spoljašnji prsten. Obrtanje osovine omogućavaju cilindrični valjci koji se obrću između spoljašnjih i unutrašnjih prstenova ležaja. U toku eksploatacije, ležajevi su izloženi veoma intenzivnim statičkim i dinamičkim opterećenjima koja mogu biti radijalna i aksijalna. Radijalna opterećenja zavise od ukupne mase željezničkog vozila, udara točkova o neravnine na kolosjeku i sastave šina, intenziteta podužnih sila usled kočenja vozila, itd. Aksijalna opterećenja zavise od intenziteta centrifugalnih sila pri prolascima vagona kroz krivine, načina vođenja i zakretanja osovinskog sklopa u krivinama, intenziteta bočnih sila koje nastaju pri vijuganju osovinskog sklopa, udara pri prelasku preko neravnina, skretnica, itd. Funkcionalnost i kvalitet rada cjelokupnog sklopa osovinskog ležaja zavisi od funkcionalnosti i ispravnosti rada svakog njegovog dijela, uključujući i sredstvo podmazivanja. Kontrola i održavanje ležajeva osovinskih sklopova definisani su međunarodnim standardima (UIC, EN, itd.), željezničkim regulativama, kao i instrukcijama pojedinačnih proizvođača.

3. UZROCI I POSLEDICE OTKAZA RUKAVCA I LEŽAJA OSOVINSKOG SKLOPA TERETNIH VAGONA

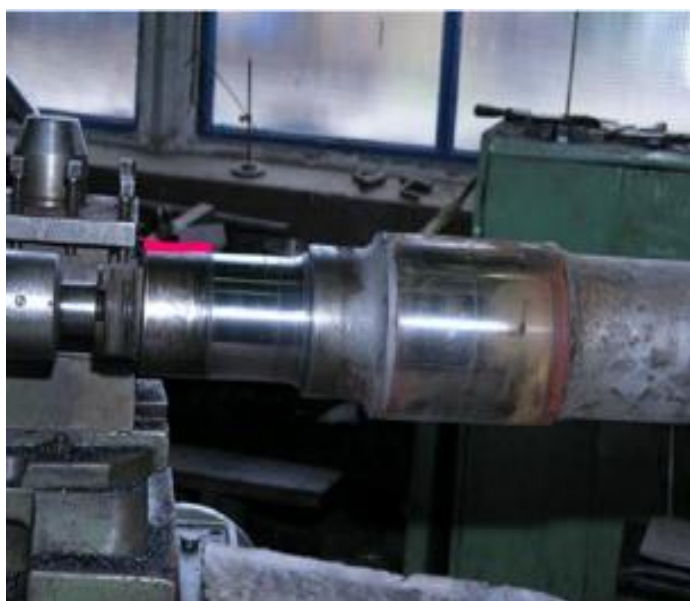
Uzroci otkaza uležištenja osovinskih sklopova su mnogobrojni. Oštećenja površine osovinskog rukavca kotrljajućih ležaja ili ležaja u kućištu kao i samog kućišta ležaja najčešće nastaje kao posledica okretanja unutrašnjeg prstena valjkastog ležaja oko rukavca osovine. Okretanje prstena nastaje iz sledećih razloga:

- kvar u kotrljajućem ležaju usled čega blokira ležaj i
- nepridržavanja tolerancija ležaja tj. preklopa prstena ležaja i rukavaca osovine uslijed čega nastaje labav spoj.

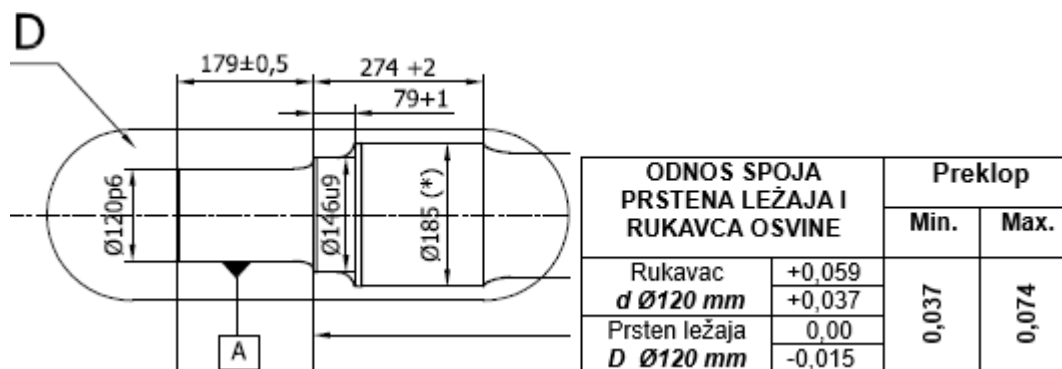
Najčešći defekti sa posledicama loma rukavca osovine i iskliznuća vagona iz kolosjeka, su pojave koje su uzrokovane nepropisnim tolerisanim spojem preklopa unutrašnjeg prstena ležaja i rukavca osovine. Okretanjem unutrašnjeg prstena kotrljajućeg ležaja oko rukavca osovine, dolazi do oštećenja površine rukavca, odnosno nedovoljnog čvrstog spoja unutrašnjeg prstena ležaja/rukavca osovine. Na slici 4 prikazan je rukavac osovine oštećen zakretanjem unutrašnjeg prstena kotrljajućeg ležaja po rukavcu. Oštećenja se manifestuju u vidu brazgotina na rukavcu koje imaju okomit smer na osu osovine, a nastaju zbog toga što je materijal iz kojeg se izrađuje unutrašnji prsten ležaja znatno tvrdi od materijala iz kojeg se izrađuje osovina. Ovo se dešava isključivo ne adekvatnom kontrolom unutrašnjeg prečnika prstena ležaja i prečnika rukavca ležaja u toku procesa održavanja osovinskih sklopova.

Pored navedenog, ključnu ulogu stabilnosti presovanog spoja čini proces montaže, odnosno demontaže koji se ostvaruje zagrijavanjem unutrašnjeg prstena ležaja sa indukcijom napravom bez mogućnosti precizno kontrolisane temperature zagrijavanja, koja se kreće od 150 do 350°C. Ova tehnološka radnja lično zavisi od osjećaja operatera koji izvodi ovu tehnološku operaciju, u kojoj se meri zagrejanost i proširio unutrašnji prečnik prstena ležaja. Poznato je da temperatura metalnih dijelova preko 250°C, prouzrokuje termičke promjene stanja materijala, što se u konkretnom slučaju često i dešava. Hlađenjem na sobnoj temperaturi dovodi se do omekšavanja materijala prstena i rukavca osovine, te time i pogodnijeg habanja dodirnih površina narednim procesom montaže i demontaže prstena. Proračunati preklap prstena ležaja i rukavca osovine je: max.0,074 mm, a min. 0,037 mm, što svakako nije veliki odnos, a podložan je habanju zbog učestalog montažno-demontažnog procesa.

Na slici 6 prikazan je indukcioni aparat za zagrijavanje i montažu prstena ležaja, a slika 7 očituje promjenu boje prstena ležaja zbog prekomjerne temperature zagrijavanja. Opisani tehnološki proces održavanja osovinskog uležištenja, neminovno dovodi do poremećaja propisanog preklopa prstena ležaja/rukavca osovine, a time i stabilnosti sistema uležištenja. Osnovna karakteristika ovakvog oštećenja je da ono izaziva promjenu u pravilnom kvalitetu funkcionisanja ležaja, koja se po pravilu manifestuje okretanjem prstena ležaja oko rukavca osovine, te pojave neminovnog trenja koje je produkt habanja materijala rukavca, a i sam uzrok pojave zagrijavanja ležaja i kompletnog kućišta ležišta osovinskog sklopa. Ova promjena ovakvog funkcionisanja sklopa uležištenja osovine, uglavnom je uzrok zaribavanja ležaja. Zbog toga, u rukavcu temperatura brzo raste do te mjere da materijal rukavca omekša, što rezultira plastičnom deformacijom osovine. Posljedica ovog procesa, a pod uticajem mase vagona je neizbježan lom rukavca osovine. Ležaj s rukavcem i kućištem otpada tj.nastaje lom, a osovina sa točkom po ne definisanoj zakonitosti ispada iz svog ležišta i izbacuje vagon ili više vagona iz koloseka. Posljedice ovakvih otkaza uglavnom su katastrofalne sa većim materijalnim štetama.



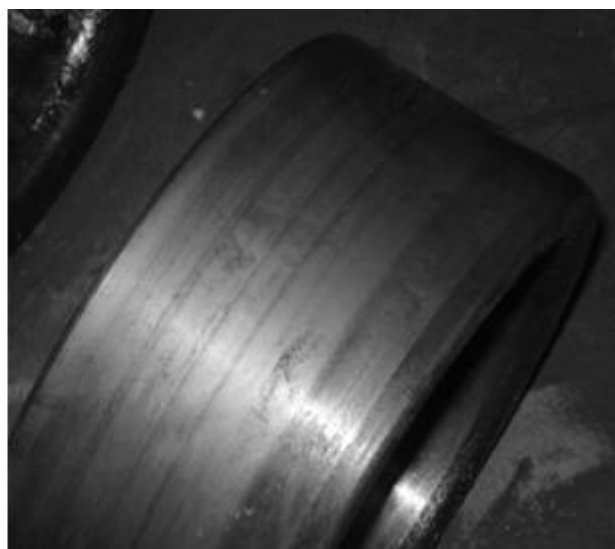
Slika 4 - Rukavac osovine oštećen zakretanjem unutrašnjeg prstena kotrljajućeg ležaja



Slika 5 - Detalj rukavca osovine koji je u preklop sa prstenom ležaja (presovani spoj)



Slika 6 - Indukcioni apart za zagrijavanje prstena osovinskog ležaja



Slika 7 - Nagorjelost ležaja prekomjernim grijanjem

4. ISKLIZNUĆE VAGONA UZROKOVANO OTKAZOM OSOVINSKIH LEŽAJEVA NA VAGONIMA ŽRS

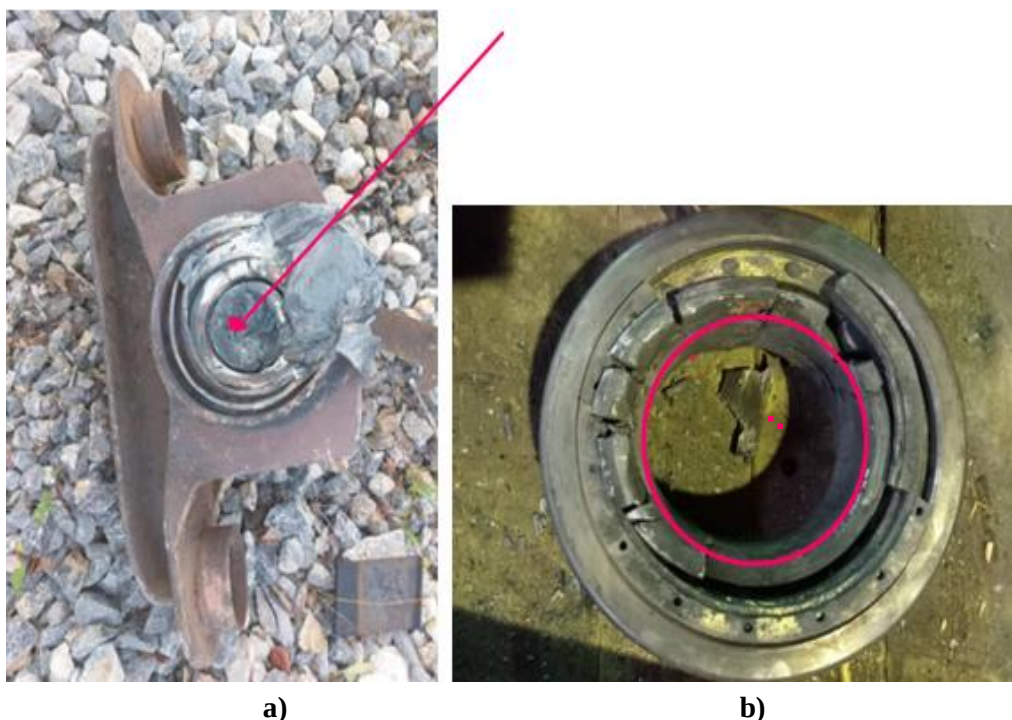
Postoji mnoštvo primjera u tehničkoj praksi koji ukazuju na značaj ispravnosti ležajeva u železničkom saobraćaju, kao i na ozbiljnost posledica koje nastaju pri njihovom otkazu. U ovom radu istraživanja iskliznuća vagona uzrokovana kvarom osovinskih ležajeva obrađeni su neki slučajevi u Željeznicama RS u poslednjih deset godina koji su očigledan primjer neadekvatnog održavanja u procesu izvršenja redovne i vanredne opravke teretnih vagona.

4.1. Istraživanja iskliznuća 2024 godine

Iskliznuće 4-osovinskih otvorenih teretnih vagona serije **Eas**, operatera Željeznica RS, koji se desio u mjesecu oktobru 2024.godine između željezničke stanice Čelinac-Ukrina (slika 8), očit je primjer otkaza osovinskog ležaja. Na osnovu dostupne dokumentacije, slika i pregleda kućišta jasno je da se u ležaju nalazi ostatak polomljene osovine tj. osovinski rukavac točka vagona. Takođe, pregledom su pronađeni tragovi topljenja metala, što ukazuje na to da je unutaršnja strana ležaja bila izložena intenzivnom djelovanju toplotne energije te je došlo do taljenja osovine i kućišta ležaja, sve dok nije konačno nastupio lom. slika 9.



Slika 8 - Isklizniče vagona na pružnoj relaciji Čelinac-Ukrina



Slika 9 - a) kućište sa ostatkom rukavca osovine, b) ležaj sa oštećenim unutrašnjim prstenom

U prezentovanom slučaju može se vidjeti da je uzrok navednog slučaja okretanje unutrašnjeg prstena oko rukavca osovine. Obrtanjem prstena na rukavcu ležaja prouzrokovalo je znatno trenje i zagrijavanje rukavca kao i cjelokupnog ležaja sve dok nisu nastupile plastične deformacije, a potom i lom.

4.2. Istraživanja iskliznuća 2016. godine

Incident se desio u maju 2016. godine u blizini željezničke stanice Omarska. Direktne posledice ovog vanrednog događaja odnosno iskliznuća vagona je veća materijalna šteta na vagonima i infrastrukturi. Na osnovu komisijskog izveštaja o vanrednom događaju i baze podataka koja je dostupna autorima rada, vidljivo je da je iskliznuće vagona prouzrokovao prelomom rukavca ležaja osovine na prelaznom

prečniku gdje je koncentracija napona najveća. Iskliznuće se desilo na dijelu pružne dionice gdje se očitiju eksploatacioni uslovi visokog dinamičkog opterećenja. Uvidom u raspoloživi fotografski materijal, vidljivo je da je otkaz odnosno lom rukavca ležaja osovine povezan sa visokom temperaturom. Sa slike 11 jasno se vidi pregorelost rukavca osovine i unutrašnjeg prstena ležaja uzrokujući "sagorevanje" osovine i lom.



Slika 10 - Iskliznuće vagona iz šina uzrokovano lomom rukavca osovine



Slika 11 - Pregorelost površine loma rukavca

Demontažom ostatka kućišta i rukavca osovine jasno se može zaključiti uzrok ovog vanrednog događaja koji je prouzrokovao značajnu materijalnu štetu. Sa stanovišta struke, slika 12, jasno pokazuje nastajanje, uzrok i lom rukavca osovine.



Slika 12 - Pohabanost prečnika rukavca osovine i unutrašnjeg prstena ležaja

Očito se i ovdje radi da je zbog labavog spoja prstena i rukavca ležaja, prouzrokovalo se obrtanje prstena na osovinskom rukavcu, a potom neminovno uslijedilo zagrijavanje kao produkt trenja i samo habanje rukavca osovine kao mekšeg dijela u spoju. Sve je to doprinijelo daljem drobljenju dijelova kaveza i valjčica ležaja do konačnog loma rukavca osovine i iskliznuća više vagona u sastavu voza iz kolosjeka.

5. ZAKLJUČAK

Primarni zadatak svih željezničkih uprava evropskih država kao i Željeznica RS je povećanje pouzdanosti i raspoloživosti vozni sredstava, uz istovremeno održavanje istog ili boljeg nivoa sigurnosti. Vijek trajanja osovinskog sklopa je presudan vitalni mašinski dio za bezbjednost i pouzdanost vozila, a osovina sa uležištenjem propada tokom svog vijeka trajanja usled dimenzionalnih promjena, zamornih i korozivnih dejstava.

Smatramo, da rezultati ovog istraživanja mogu dovesti do jasnijih smjernica za poboljšanje svih faza u održavanju i korištenju željezničkih vozila kako bi se smanjile mogućnosti budućih incidenata i nesreća uzrokovanih otkazom osovinskog uležištenja. U cilju smanjenja broja željezničkih nesreća u Željeznicama RS i šire, uzrokovanih dotrajalošću ležajeva te stoga smatramo da treba uvesti praćenje ležajeva sa uvođenjem jedinstvenog identifikacionog broja svakog ležaja i praćenja pređene kilometraže vozila, a nakon toga voditi evidenciju o datumu montaže svakog pojedinačnog ležaja na osovine vagona. Tako bi bilo moguće pratiti preporuku proizvođača ležaja o vijeku njegovog trajanja i broju pređenih kilometara.

Pored navedenog, predlažemo da se redovne opravke i periodični pregled osovinskih sklopova trebaju tehnološki usavršiti sa novom generacijom mjernih i dijagnostičkih uređaja koji će pouzdanije definisati stanje sklopa i njegovih sastavnih dijelova.

Što se tiče ključnog problema na osovinskom sklopu tj. uležištenja i učestalih otkaza koji se manifestuju zagrijavanjem ležaja, zbog mehaničkih poremećaja u sklopu koji čini: ležaj, rukavac i kućište ležaja, predlažemo da se pristupi razvoju inovativnog sistema za kontinualno (on-line) praćenje temperature kućišta ležišta osovinskih sklopova. Takav pristup podrazumijeva konstantno mjerenje temperature svih kućišta kod svih vagona u sastavu voza, odnosno svako kućište mora biti opremljeno senzorom za merenje temperature. Na primer, jedan 4-osovinski vagon mora biti opremljen sa 8 senzorskih jedinica. U slučaju pojave neispravnosti ležaja i porasta temperature, sistem istog trenutka alarmom upozorava operatera, odnosno dispečera za tehničko kolske poslove, koji može pravovremeno reagovati. Efikasnost i pouzdanost razvijenog sistema su daleko veće u odnosu na sistem koji bazira na stacionarnim mjernim stanicama. Veliki broj evropskih željezničkih operatera je primjenio ovaj sistem dijagnostike kućišta ležaja na teretnim vagonima svih serija. Glavni nedostatak ovog dijagnostičkog modela, je potreba za znatnim investicionim ulaganjima u njegovu implementaciju kod komercijalnih željezničkih vozila.

Kraće rečeno, kao zaključak, au vezi predmeta ovog rada slobodno možemo konstatovati, da blagovremenom identifikacijom nepravilnosti u radu ležajeva, njihovim praćenjem, analizom i preduzimanjem mjera u cilju sprečavanja njihove pojave nepravilnosti, ostvaruje se cilj održavanja istih, a to je efikasan tehnički sistem sa minimalnim učešćem otkaza u radu.

6. LITERATURA

- [1] Adamović, Ž., Tomić, M., Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.
- [2] Adamović Ž., Vuković, V., Kalabić, D., Dijagnostika mašina i postrojenja, Društvo za energetska efikasnost BiH, RS, Banja Luka 2019.
- [3] Aleksandrov, V., Održavanje željezničkih vozila, Naučna knjiga Beograd 2000.
- [4] Bišić, B. M., i drugi Detekcija neispravnosti ležajeva osovinskih sklopova železničkih vozila Tehnika-mašinstvo 65, Kragujevcu, 2016. Stručni rad UDC: 629.4.027:625.143

- [5] Beles, D., Peruško, S., Istraživanje iskliznuća željezničkog vagona, Stručni rad, Željeznice broj 21, godina 14, broj 3/2015
- [6] Nuhodžić, S., Bulatović, M., Utvrđivanje oštećenja osvinskih ležajeva trčućeg stroja željezničkog vozila, Tehnička dijagnostika 2009.god. Stručni rad, UDC: 629.114-476.26
- [7] Stamenković, D., Održavanje železničkih vozila, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2011.
- [8] Uputstvo o održavanju osovinskih sklopova 260, ŽRS Doboj 2004.
- [9] Uputstvo za korišćenje i održavanje vagonskih mazalica sa kotrljajućim ležajima, Željeznice Republike Srbije, 2023.
- [10] Uputstvo za održavanje i opravku osovinskog sklopa sa kotrljajnim ležištima, ŽRS 2005