

## Detekcija neispravnosti ležajeva osovinskih sklopova željeznih vozila

MILAN B. BIŽI, Univerzitet u Kragujevcu,

Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo, Kraljevo

MILOŠ C. TOMIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički fakultet, Beograd

ZORAN V. INOVIĆ, Austrian Center for Medical Innovation

and Technology, Wiener Neustadt, Austria

DRAGAN Z. PETROVIĆ, Univerzitet u Kragujevcu,

Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo, Kraljevo

Stručni rad

UDC: 629.4.027:625.143

DOI: 10.5937/tehnika1605702B

Otkaz ležajeva osovinskog sklopa spada među najčešće uzroke iskliznuća željeznih vozila koja su uglavnom prouzročena ogromnom materijalnom štetom i ljudskim žrtvama. Savremene željeznice intenzivno rade na razvoju i uvođenju odgovarajućih sistema za ranu detekciju neispravnosti ležajeva, koja se po pravilu manifestuje njegovim pojavama zagrevanjem. Najčešći pristup zasniva se na primeni stacionarnih mernih stanica lociranih na određenim mestima duž trase pruge. Postoji i inovativni pristup koji podrazumeva primenu sistema za merenje i kontinualno praćenje temperature kućišta ležajeva osovinskih sklopova. Osnovni cilj je da se omogući rana detekcija neispravnosti ležajeva i da se sprema potencijalno iskliznuće. Ovaj rad bavi se analizom postojećih rešenja za detekciju neispravnosti ležajeva sa posebnim osvrtom na princip rada i glavne prednosti i nedostatke. U radu su prikazane osnove jednog novo-razvijenog bežičnog mernog sistema za kontinualno praćenje temperature kućišta ležajeva osovinskih sklopova. Merni sistem je testiran u realnim uslovima i može se veoma uspešno primeniti kod komercijalnih željeznih vozila. Osnovni zaključak je da su sistemi za kontinualno praćenje temperature ležajeva daleko efikasniji od stacionarnih sistema. Dobijeni rezultati mogu biti značajni za sve one koji se bave ovakvim i sličnim problemima, problemima razvoja, eksploatacije i održavanja željeznih vozila, strategijama, propisima, itd.

**Ključne reči:** detekcija, neispravnost, otkaz ležajeva, temperatura, osovinski sklop, željezno vozilo

### 1. UVOD

Otkaz ležajeva osovinskog sklopa je jedan od najčešćih uzroka iskliznuća i vanrednih događaja na željeznici [1, 2]. On dovodi do otkaza pravilnog funkcionisanja osovinskog sklopa, što uglavnom izaziva iskliznuće datog željeznog vozila, a veoma često i velikog dela kompozicije, sa katastrofalnim posledicama. Željeznice ovom problemu posvećuju posebnu pažnju i razvijaju odgovarajuće tehničke sisteme za detektovanje neispravnosti ležajeva koja se uglavnom manifestuje povećanjem njegove temperature.

Osnovni cilj je otkrivanje neispravnosti u ranoj fazi, čime se omogućava pravovremeno reagovanje i

sprečavanje potencijalnih iskliznuća. Najzastupljeniji pristup zasnovan je na primeni stacionarnih mernih stanica koje se postavljaju na određenim mestima duž trase pruge [3–6].

One su opremljene odgovarajućim senzorima koji detektuju pregrijavanje kućišta ležajeva osovinskih sklopova tokom prolaska voza. Sa druge strane, postoji i inovativni pristup koji se bazira na primeni sistema za kontinualno (on-line) praćenje temperature.

Osnovni zadatak ovog rada je analiza navedenih pristupa sa posebnim osvrtom na princip rada i glavne prednosti i nedostatke mernih sistema. Pored toga, u radu je predstavljen jedan bežični novo-razvijeni merni sistem za kontinualno praćenje temperature kućišta ležajeva osovinskih sklopova.

Dobijeni rezultati mogu biti veoma značajni za sve one koji se bave ovakvim i sličnim problemima, problemima razvoja, eksploatacije i održavanja željeznih vozila, strategijama, propisima, itd.

Adresa autora: Milan Bižić, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Dositejeva 19, Kraljevo

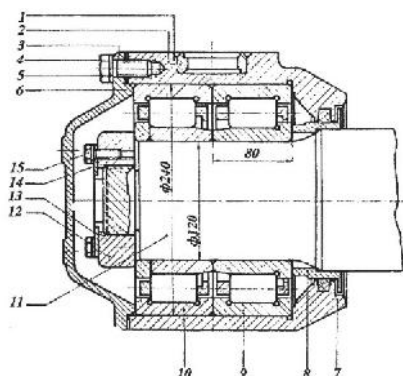
Rad primljen: 14.07.2016.

Rad prihvaćen: 26.09.2016.

## 2. KONSTRUKCIJA ULEŽIŠTENJA OSOVINSKOG SKLOPA

Ležajevi osovinskih sklopova spadaju među najodgovornije elemente trake i stroja željeznih 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 sigurnost voza. Ležajevi su smešteni u odgovarajućem kućištu preko kojih se vrši prenos opterećenja na rukavce osovine i ograničava podužno i poprečno pomeranje osovinskih sklopova. Elementi uležištenja se po pravilu nalaze sa spoljašnje strane točkova osovinskih sklopova. Kod savremenih tipova željeznih vozila koriste se isključivo kotrljajni ležajevi, dok se klizni ležajevi mogu sresti samo kod starijih vozila koja se manje koriste u komercijalnom željeznom saobraćaju.

Postoji više različitih konstruktivnih rešenja uležištenja koja uglavnom zavise od tipa željeznog vozila. Međutim, važno je naglasiti da sva rešenja baziraju na istom konceptu. Tipično rešenje ležišta osovinskog sklopa za normalnu širinu koloseka prikazano je na slici 1.



Slika 1 - Tipično konstruktivno rešenje uležištenja osovinskog sklopa za normalnu širinu koloseka

Osnovni delovi sklopa prikazanog na slici 1 su: 1 – telo kućišta; 2 – gura za centriranje opruga; 3 – poklopac kućišta; 4 – zavrtnj; 5 – podloška; 6 – gumena zaptivka; 7 – lavirinski prsten; 8 – filcni zaptiva; 9 – cilindrično-valjkasti ležaj WJ; 10 – cilindrično-valjkasti ležaj WJP; 11 – rukavac osovine; 12 – sigurnosna navrtka; 13 – osigurač; 14 – elastin na podloška; i 15 – zavrtnj.

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 radialna i aksijalna. Radikalna opterećenja zavise od ukupne težine željeznog

vozila, udara točkova o neravnine i sastave šina, intenziteta podužnih sila usled kočenja, itd. Aksijalna opterećenja zavise od intenziteta centrifugalnih sila pri prolascima kroz krivine, na inačice kočenja 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 celokupnog sklopa osovinskog ležaja zavisi od funkcionalnosti i ispravnosti rada svakog njegovog dela, uključujući i sredstvo podmazivanja. Kontrola i održavanje ležajeva osovinskih sklopova definisani su narodnim standardima (UIC, EN, itd.), željeznim regulativama, kao i instrukcijama pojedinih proizvođača.

## 3. UZROCI I POSLEDICE OTKAZA LEŽAJEVA OSOVINSKIH SKLOPOVA

Uzroci otkaza ležajeva osovinskih sklopova su mnogobrojni. Neki od njih su: greške u materijalu elemenata ležaja; greške u proizvodnji elemenata ležaja; greške u geometriji pojedinih elemenata ležaja ili celokupnog sklopa ležaja; nepravilno sklapanje i montaža ležaja; nepravilno podmazivanje u vidu nedostatka maziva, viška maziva ili neadekvatnog maziva; prolazak električne struje; uticaj vlage; uticaj prašine; uticaj mehaničkih neistočnosti, itd [1].

Osnovna karakteristika svakog oštećenja je da ono izaziva promenu u kvalitetu funkcionisanja ležaja koja se po pravilu manifestuje povećanjem temperature ležaja i kompletnog kućišta ležišta osovinskog sklopa. U najvećem broju slučajeva to za posledicu ima otkaz ležaja i isključivo, ne samo datog željeznog vozila, već i velikog dela kompozicije.

Ovakve situacije su izuzetno česte i naročito su karakteristične za teretne vagona koji se koriste u ekstremnim uslovima eksploatacije. Jedan od karakterističnih primera su vagoni koji služe za transport uglja u termoelektranama.

Na slici 2 prikazane su posledice otkaza ležaja jednog osovinskog sklopa Fbd vagona za transport uglja od površinskih kopova Kolubare do termoelektrane „Nikola Tesla“ u Obrenovcu, Srbija. Incident se desio 1995. godine u stanici Stubline. Direktna posledica ovog isključivog su ogromna materijalna šteta na vagonima i infrastrukturi.

Međutim, mnogo su ozbiljnije indirektna posledica uzrokovane prekidom redovnog snabdevanja termoelektrane ugljem. Postoji mnoštvo slučajnih primera u tehnici koji praksi ukazuju na značaj ispravnosti ležajeva u željeznom saobraćaju, kao i na ozbiljnost posledica koje nastaju pri njihovom otkazu. Neki su prikazani na slikama 3–5.



Slika 2 - Detalji iskliznu a uzrokovanog otkazom ležaja osovinskog sklopa (Srbija, 1995.)



Slika 3 - Detalji iskliznu a uzrokovanog otkazom ležaja osovinskog sklopa (Australija, 2010.) [7]



Slika 4 - Detalji iskliznu a uzrokovanog otkazom ležaja osovinskog sklopa (Kanada, 2003.) [8]



Slika 5 - Detalji iskliznu a uzrokovanog otkazom ležaja osovinskog sklopa (Engleska, 2010.) [9]

#### 4. SISTEMI ZA DETEKCIJU NEISPRAVNOSTI LEŽAJEVA

Problemu otkaza ležajeva osovinskih sklopova savremene železnice posvećuju značajnu pažnju. Strategije podrazumevaju razvoj i uvođenje sistema za ranu detekciju pregrevanja ležajeva sa osnovnim ciljem da se omogući i pravovremeno otkrivanje neispravnosti i spreči iskliznuće. U tom smislu, danas se najčešće koriste stacionarne merne stanice locirane duž trase pruge. Pored toga, postoji i drugi pristup koji još uvek nije dovoljno afirmisan, i koji podrazumeva primenu sistema za merenje i kontinualno praćenje temperature ležajeva.

##### 4.1. Stacionarne merne stanice

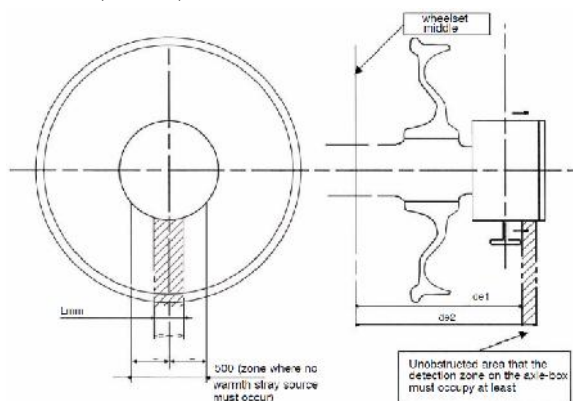
Intenzivna primena stacionarnih mernih stanica započela je u poslednjih trideset godina na većini svetskih železnica. Pored detekcije pregrejanih kugli i šta, savremene stacionarne merne stanice uglavnom sadrže i sisteme za otkrivanje drugih neispravnosti na železničkim vozilima [10]. Ovaj pristup zasnovan je na instalaciji određenog broja stanica duž trase pruge (slika 6).



Slika 6 - Stacionarna merne stanice

Jedan od osnovnih uslova je da senzori budu na tačno propisanim rastojanjima u odnosu na srednju liniju koloseka, kao i da sva kuglišta budu "vidljiva",

odnosno da zona izme u detektora i ku išta bude slobodna (slika 7).



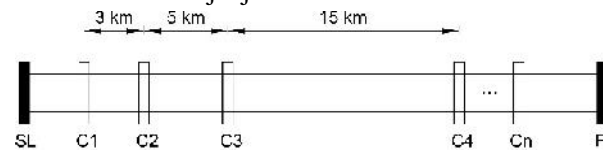
Slika 7 - Slobodna zona izme u detektora i ku išta definisana standardom UIC 501 [11]

Osnovni problem kod stacionarnih mernih stanica sastoji se u tome kako obezbediti brzo merenje temperature. Naime, pregrevanje mora biti detektovano pri velikim brzinama vozova koje su na pojedinim linijama veće i od 200 km/h. Na primer, ako se voz kreće brzinom od 200 km/h, ku ište ležišta osovinskog sklopa lja je širina oko 220 mm i pro i iznad stacionarne ta ke na pruži za oko 0,004 s odnosno 4 ms. Prema tome, u ovom slučaju merenje temperature mora biti realizovano za manje od 4 ms. Tada identifikacija temperaturnog stanja ku išta ležišta osovinskih sklopova predstavlja izuzetno kompleksan problem. Zbog toga se kod savremenih stacionarnih mernih stanica najčešće koriste infracrveni detektori koji omogućavaju dobijanje temperaturnog profila svakog ku išta u trenutku prolaska voza. Moderna rešenja omogućavaju detekciju pregrevanja i pri veoma velikim brzinama voza od preko 500 km/h [12]. Dakle, verovatno je da pregrejano ku ište ležišta osovinskog sklopa pro i kroz stacionarnu mernu stanicu, a da pri tome pregrevanje ne bude detektovano, je izuzetno mala.

Međutim, postavlja se pitanje pojave neispravnosti ležajeva na deonicama izme u stacionarnih mernih stanica. Pri tome, od značaja je vreme koje protekne od nastanka neispravnosti do potpunog otkaza ležaja, kao i vreme do prolaska kroz stacionarnu mernu stanicu, kada pregrevanje može biti detektovano. Jedan od najznačajnijih problema kod ovog pristupa je određivanje rastojanja izme u susjednih stacionarnih mernih stanica. Rešenje se obično zasniva na procenama i analizama rizika pri čemu je ključni ulazni parametar vreme porasta temperature ku išta. Kod većine ležajeva osovinskih sklopova normalna radna temperatura iznosi 55÷60 °C, dok se alarm aktivira ukoliko se detektuju kritične temperature preko 80÷90 °C. Dakle, ključno pitanje odnosi se na vreme porasta temperature od trenutka nastajanja oštećenja do kritične temperature pri kojoj se aktivira alarm. Iskustva iz prakse

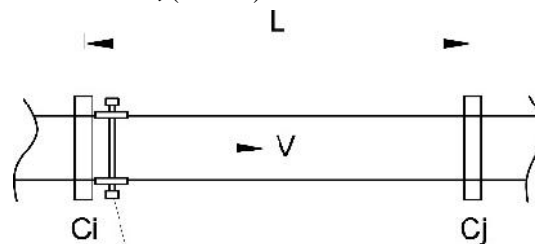
pokazuju da ku ište može biti pregrejano do određene temperature koja je nešto veća od uobičajene, pri čemu ležaj još uvek normalno funkcioniše. Tada dolazi do postepenog pogoršavanja performansi ležaja što nakon određеноg vremena rezultira otkazom. U ovakvim slučajevima stacionarne merne stanice mogu dati dobre rezultate, ukoliko su postavljene u dovoljnom broju duž trase pruge. Međutim, praktična iskustva pokazuju da, nakon nastanka neispravnosti, porast temperature ku išta može nastupiti i veoma brzo. Pri tome, kritična vrednost temperature pri kojoj se pali alarm se dostiže za kratko vreme, nakon čega za određeno vreme nastupa otkaz. U ovom slučaju, postavlja se pitanje da li će pregrevanje biti pravovremeno detektovano ili će do otkaza doći na deonici pruge izme u dve stacionarne merne stanice.

U cilju detaljnije analize ovog problema, formiran je model sistema stacionarnih mernih stanica duž jedne željezničke linije [13]. One se nalaze na međusobnim rastojanjima 3÷15 km (slika 8). Sličan sistem postoji na Austrijskim železnicama OBB [3]. Primera radi, na glavnim linijama željeznice „Canadian Pacific Railway“ rastojanja izme u stacionarnih mernih stanica iznose oko 20÷30 milja (32÷48 km), što je daleko više u odnosu na rastojanja u formiranom modelu.



Slika 8 - Model sistema stacionarnih mernih stanica na jednoj željezničkoj liniji

Analizira se kretanje jednog osovinskog sklopa izme u dve stacionarne merne stanice  $C_i$  i  $C_j$ , koje se nalaze na rastojanju  $L$ , pri brzini kretanja voza  $V$ . Uvedena je pretpostavka da do porasta temperature ku išta dolazi neposredno nakon njegovog prolaska kroz prvu mernu stanicu  $C_i$  (slika 9).



Slika 9 - Kretanje analiziranog osovinskog sklopa izme u dve stacionarne merne stanice

Ovaj slučaj podrazumeva maksimalno vreme za porast temperature, pre prolaska kroz mernu stanicu  $C_j$ , kada se pregrevanje može detektovati. Vreme koje protekne od trenutka prolaska kroz mernu stanicu  $C_i$  do trenutka prolaska kroz mernu stanicu  $C_j$  iznosi  $t=L/V$ . U tabeli 1 prikazane su vrednosti vremena  $t$  za različite kombinacije parametara  $L$  i  $V$ .

Tabela 1. Uporedni pregled vremena  $t$  za različite kombinacije parametara  $L$  i  $V$ 

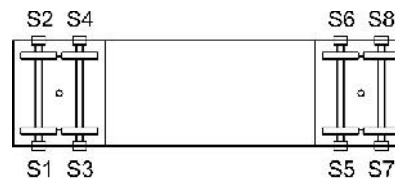
Slučaj	$L$ [km]	$V$ [km/h]	$t$ [sek]	$t$ [min]
A1	3	160	67,5	1,1
A2	3	200	54	0,9
B1	5	160	112,5	1,9
B2	5	200	90	1,5
B3	10	160	225	3,7
B4	10	200	180	3
C5	15	160	337,5	5,6
C6	15	200	270	4,5

Dati osovinski sklop prelazi rastojanje od 3 km izme u dve stanice, pri brzini od 200 km/h, u najboljem slučaju za 54 s (slučaj A2). U svim ostalim slučajevima kada je rastojanje izme u stanica veće, vreme prelaska je znatno veće. Na primer, ukoliko je rastojanje izme u stanica 35 km („Canadian Pacific“) i brzina kretanja voza iznosi 160 km/h, vreme  $t$  iznosi preko 13 min. I pored veoma malih rastojanja izme u stanica, nagli porast temperature ku išta u trajanju od 60 s ne bi bio pravovremeno detektovan, izuzev u slučaju A2. Ako se pored toga uzme u obzir i brzina reagovanja i vreme zaustavljanja voza, veoma je diskutabilno da li se i u ovom slučaju iskliznuće može spremiti.

Stacionarne merne stanice daju dobre rezultate u slučajevima sporijeg porasta temperature. Mora se uzeti u obzir i činjenica da pri njihovoj primeni postoji i veliki broj „lažnih alarma“. Prema izveštaju [8], od ukupnog broja alarma na železnici „Canadian Pacific“, oko 40% su upravo lažni alarmi o pregrejanim ku ištima. Svaki takav alarm uzrokuje trenutno zaustavljanje voza i kontrolu osovinskog sklopa za koji je signalizirano pregrevanje. Pored toga, mora se uzeti u obzir i činjenica da se stacionarne merne stanice nalaze uglavnom na prostoru bez nadzora, zbog čega uvek postoji rizik od krađe veoma skupocene opreme koja se u njima nalazi. Uprkos velikim investicijama, rizik od nefekasnosti stacionarnih mernih stanica je stalno prisutan. Iskustva iz prakse svedoče da su se na pojedinim železnim linijama, uprkos instaliranim stacionarnim mernim stanicama, iskliznuća usled otkaza ležajeva ipak desila. Upravo takvo iskliznuće je predmet izveštaja [8].

#### 4.2. Sistemi za kontinualno praćenje temperature

U poslednje vreme se intenzivno razvijaju sistemi za kontinualno (on-line) praćenje temperature ku išta ležišta osovinskih sklopova. Takav pristup podrazumeva konstantno merenje temperature svih ku išta svih vagona u sastavu voza, odnosno svako ku ište mora biti opremljeno senzorom za merenje temperature. Na primer, jedan 4-osovinski vagon mora biti opremljen sa 8 senzorskih jedinica (slika 10).

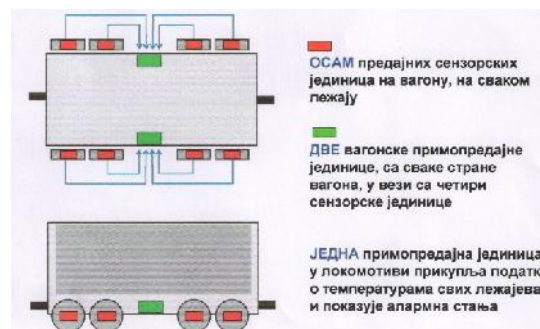


Slika 10 - Šema senzora na 4-osovinskom vagonu

Ukoliko se voz, primera radi, sastoji iz 100 vagona, broj senzorskih jedinica koje ulaze u njegov sastav iznosi 800. Dakle, primena ovakvog pristupa zahteva ogromna investiciona ulaganja, što je jedan od njegovih glavnih nedostataka. Osnovni problemi kod ovakvih mernih sistema odnose se na prenos podataka i napajanje [14]. Imaju i u vidu veliki broj senzorskih jedinica u vozu, problem prenosa podataka najčešće se rešava bežičnim prenosom signala. U narednom poglavlju prikazane su osnove jednog sistema za merenje i kontinualno praćenje temperature ku išta ležišta osovinskih sklopova, razvijenog od strane autora ovog rada.

#### 5. BEŽIČNI SISTEM ZA MERENJE TEMPERATURE

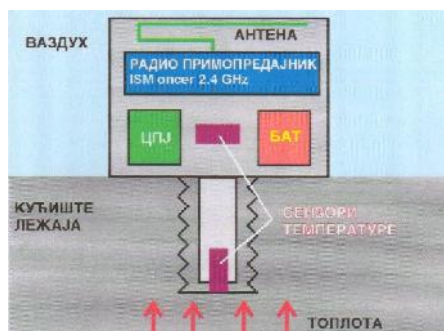
Osnovna senzorska konfiguracija razvijenog sistema sastoji se od senzorskih jedinica koje su postavljene na ku išta ležišta osovinskih sklopova, vagonskih primopredajnih jedinica, kao i primopredajne jedinice koja se nalazi u lokomotivi (slika 11). Broj senzorskih i vagonskih primopredajnih jedinica zavisi od broja vagona koji ulaze u sastav voza. Jedan 4-osovinski vagon opremljen je sa 8 senzorskih i 2 primopredajne jedinice koje prikupljaju podatke o temperaturama ku išta.



Slika 11 - Šema osnovne senzorske konfiguracije

U osnovi svih elektronskih jedinica sistema nalazi se niskopotrošni 16-bitni mikrokontroler familije Texas Instruments MSP430. Senzorska jedinica koristi radio primopredajni modul vrlo male potrošnje i snage (Nordic Semiconductor, serija nRF24), u ISM frekvenzijskom opsegu 2,4 GHz, koji ne podleže licenciranju. Temperatura se meri u ku ištu jedinice i u ku ištu ležaja, u tački blizu osovine pri čemu se koristi digitalni senzorski čip tačnosti  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Dakle, osnovna senzorska jedinica sastoji se od ku išta, dva senzora temperature, antene, radio primopredajnika opsega 2,4

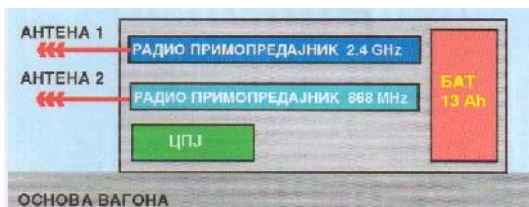
GHz, centralne procesorske jedinice i napajanja. Ova jedinca postavlja se direktno na ku ište ležišta osovinskog sklopa (slika 12).



Slika 12 - Šema osnovne senzorske jedinice

Vagonski primopredajnik je baziran na Semtech modulu XE1205 koji radi u ISM frekvencijskom opsegu 868 MHz i zadovoljava Evropski standard o elektromagnetnoj kompatibilnosti ETSI EN300-220-1. Napajanje je obezbe eno iz primarnih baterijskih elemenata tipa LiSOC12 kapaciteta 13 Ah i 2,6 Ah, za vagonsku i senzorsku jedinicu, respektivno. Ove baterije omogu avaju neprekidni rad u trajanju od 8 godina, ako se o itavanje vrši svakog minuta. O itavanje senzora se po izboru može vršiti automatski periodično, prozivanjem ili na osnovu detektovanog alarmnog stanja.

U sastav vagonske primopredajne jedinice ulaze: ku ište, radio primopredajnik opsega 2,4 GHz, radio primopredajnik opsega 868 MHz, dve antene, centralna procesorska jedinica i napajanje (slika 13).



Slika 13 - Šema vagonske primopredajne jedinice

Za komunikaciju me u elementima sistema koristi se serijski komunikacioni protokol Modbus. Podaci o temperaturama sa svih senzorskih jedinca odnosno vagonskih primopredajnih jedinca sakupljaju se u jednoj jedinici u lokomotivi. U njoj se ovi podaci obra uju prema odgovaraju em algoritmu i prikazuju u realnom vremenu.

U slu aju prekora enja kriti nih vrednosti temperature, ova jedinca daje trenutno obaveštenje i pokre e alarm. Elektronska jedinica u lokomotivi komunicira direktno samo sa prvih nekoliko vagona, a podaci i sinhronizacija se prenose lan ano, sve do najudaljenijeg vagona.

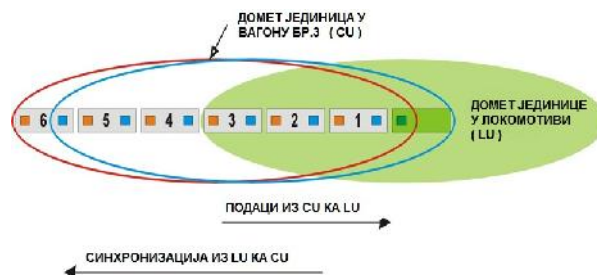
Tako se izbegava rad sa ve om snagom zra enja, ime se pove ava vreme autonomije vagonskih jedinica i smanjuje potencijalni uticaj na radio veze u okolini

kompozicije. Svaki vagon je opremljen sa dve jedinice za komunikaciju sa lokomotivom, ime je obezbe en bar jedan lanac veze na potencijalno problemati nim mestima, pre svega u krivinama. Svaka senzorska i vagonska jedinica ima jedinstvenu adresu u radio komunikaciji.

Na bazi adresa u esnika mreže i njihovih snaga emitovanja, predvi eno je automatsko mapiranje mernog sistema cele kompozicije koje se vrši u jedinici u lokomotivi. Tako se postiže potpuna fleksibilnost u sastavljanju kompozicije. Pouzdanost komunikacionog sistema u odnosu na mogu i otkaz neke vagonske jedinice se postiže mnogo ve im dometom vagonskih jedinica nego što je neophodno za lan anu vezu.

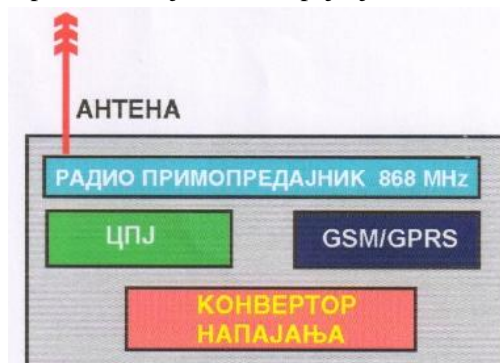
Nestanak senzorske jedinice iz mreže, kao i nelogi no o itavanje temperature unutar jedinice, ukazuje na nepravilnost rada sistema. Pored toga, analizom prikupljenih podataka tokom eksploatacije otkriva se promena temperature svih ležajeva u dugom vremenskom periodu i, uz upotrebu GPS sistema, dobija veza izme u pove anja temperature i trase kretanja vagona.

Topologija mreže lokomotiva-vagoni prikazana je na slici 14.



Slika 14 - Topologija mreže lokomotiva-vagoni

Lokomotivska primopredajna jedinica sastoji se od ku išta, antene, radio primopredajnika opsega 868 MHz, modula za GSM odnosno GPRS modema, centralne procesorske jedinice i napajanja (slika 15).



Slika 15 - Šema primopredajne jedinice u lokomotivi

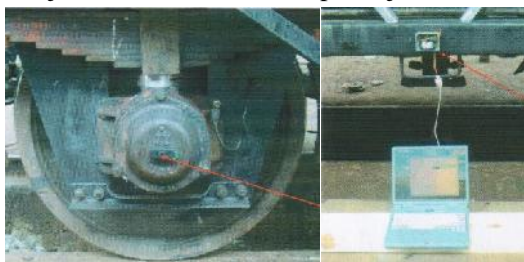
Domet beži ne mreže izme u senzorskih jedinca na ku ištima i vagonskih primopredajnih jedinca iznosi nekoliko desetina metara, a domet beži ne mreže izme u vagonskih jedinca i jedinice u lokomotivi je

nekoliko stotina metara. Šema bežične senzorske mreže prikazana je na slici 16.



Slika 16 - Šema bežične senzorske mreže

Preliminarna ispitivanja razvijenog sistema minimalne složenosti (LU, CU i dve SU) sprovedena su 2006. godine u krugu Fabrike vagona u Kraljevu (slika 17). Potvrđena je osnovna funkcionalnost – merenje temperature, prenos do vagonске а potom i do jedinice u lokomotivi, kao i dalje očitavanje rezultata putem mreže mobilne telefonije. S obzirom na ograničen broj komponenti mreže, nisu mogli biti uočeni potencijalni problemi u lokalnoj komunikaciji jedinice u lokomotivi sa vagonским јединицама. Na ovom segmentu se otkriva najviše i tehnički problemi pri punoj implementaciji sistema na testnu kompoziciju.



Slika 17 - Detalji sa preliminarnih testiranja

Preliminarna testiranja su dala dobre rezultate i potvrdila da se, uz određena prilagođavanja i rešavanje određenih strateških pitanja, razvijeni merni sistem može uspešno primeniti u praksi. Dakle, razvijeni merni sistem omogućava detektovanje neispravnosti ležaja neposredno nakon njihovog nastanka.

U slučaju prekoračenja kritične temperature na nekom od kugličastih, istog trenutka se uključuje alarm koji operatera upozorava da hitno zaustavi voz. Na taj način se omogućava pravovremeno reagovanje i sprečavanje eventualnog iskliznula. Ovakav pristup ima enorman značaj, naročito kada se imaju u vidu trendovi porasta brzine i osovinskog opterećenja na železnici koje neminovno prate i zahtevi za povećanjem nivoa bezbednosti.

U prvom redu, posebnu ciljnu grupu za ugradnju navedenog sistema predstavljaju teretna železnička vozila koja se koriste u ekstremnim uslovima eksploatacije, kod kojih praksa beleži uсталјenje otkaze ležaja. Međutim, razvijeni sistem može biti interesantan za ugradnju na sva železnička vozila, posebno u sklopu

integracije sa drugim mernim sistemima. U tom smislu, nameće se ideja da se predloženi merni sistem za detekciju neispravnosti ležaja integriše sa mernim sistemima za kontinualno praćenje i detekciju oštećenja točkova, osovine, itd. Imaju u vidu tendencije daljeg razvoja železnice, razvoj ovakvih "pametnih" osovinskih sklopova postaje neminovan u skorijoj budućnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Prevenција iskliznula а uzrokovanih otkazima ležaja osovinskih sklopova uglavnom se zasniva na primeni stacionarnih mernih stanica. One daju dobre rezultate, ali samo u slučajevima kada je neispravnost ležaja takva da izaziva postepen porast temperature koji traje dovoljno dugo do prelaska preko merne stanice. Imajući u vidu značajan stepen nesigurnosti primene ovakvih mernih sistema, može se zaključiti da detektovanje neispravnosti zavisi od spleta mnogobrojnih okolnosti u datom trenutku. Uprkos velikim investicionim ulaganjima, i dalje postoji značajan rizik od iskliznula. To potvrđuju iskustva iz prakse koja govore da su se, i pored postojanja modernih stacionarnih mernih stanica na datim prugama, neka iskliznula а uzrokovana otkazima ležaja osovinskih sklopova ipak desila. Efikasnost raste sa postavljanjem više stanica na manjim rastojanjima, ali to uzrokuje ogromna investiciona ulaganja. Pri tome, treba imati u vidu stalni rizik od krađe veoma skupocene merne opreme koja se u njima nalazi.

Inovativan pristup zasniva se na kontinualnom merenju i praćenju temperature svakog kugličastog ležaja osovinskog sklopa svakog vagona u vozu. U ovom radu je prikazano tehničko rešenje jednog takvog razvijenog mernog sistema. Uz predložena rešenja prenosa podataka i napajanja, razvijeni sistem se može uspešno prilagoditi masovnoj upotrebi na komercijalnim železnim vozilima. U slučaju pojave neispravnosti ležaja i porasta temperature, sistem istog trenutka alarmom upozorava operatera koji može pravovremeno reagovati.

Efikasnost i pouzdanost razvijenog sistema su daleko veće u odnosu na sistem koji bazira na stacionarnim mernim stanicama. Kvantitativni pokazatelji pouzdanosti sistema moraju biti definisani nakon detaljnih testiranja i ispitivanja, što treba da bude predmet budućih istraživanja. Glavni nedostatak ovog pristupa je potreba za ogromnim investicionim ulaganjima u njegovu implementaciju kod komercijalnih železnih vozila. Međutim, pri tehnološkoj ekonomskoj analizi opravdanosti uvođenja ovog sistema, što takođe treba da bude predmet budućih istraživanja, treba uzeti u obzir činjenicu da pravovremena detekcija svake neispravnosti ležaja sprečava potencijalno iskliznula а sa katastrofalnim posledicama.

## LITERATURA

- [1] S. Nuhodži , M. Bulatovi , *Determining damage on axial bolsters of the running engine of a railway vehicle*, Tehni ka dijagnostika, 2, pp. 25-29, 2009.
- [2] V. Gerdun, T. Sedmak, V. Sinkovec, I. Kovse, B. Cene, *Failures of bearings and axles in railway freight wagons*, Engineering Failure Analysis, 14, pp. 884–894, 2007.
- [3] A. Schöbel, J. Karner, *Components for wayside train observation in Austria*, Proceedings of the XII Scientific Expert Conference on Railways – RAILCON 06, Nis, Serbia, pp. 25-28, 2006.
- [4] S. L. Bepperling, A. Schöbel, *Estimation of Safety Requirements for Wayside Hot Box Detection Systems*, FORMS/FORMAT 2010, Part 2, pp. 135-143, 2011.
- [5] S. Milic, D. Kovacevic, S. Djordjevic, M. Sreckovic, *System for monitoring overheating in axle-box of trains*, Elektroprivreda, vol. 58, no. 1, pp. 75-84, 2005.
- [6] Z. Djordjevic, J. Karner, A. Schöbel, S. Mirkovic, *Batajnica checkpoint for wayside train monitoring*, Proceedings of the XIV Scientific Expert Conference on Railways – RAILCON 2010, Nis, Serbia, pp. 189-192, 2010.
- [7] *Derailment of train 3PW4, Wodonga, Victoria*, AT-SB Transport Safety Report, Rail Occurrence Investigation, RO-2010-011, 2010.
- [8] *Railway Investigation Report R03T0158, Main-track derailment Canadian Pacific railway train CP 121-21, mile 48.30*, Winchester subdivision Green Valley, Ontario, The Transportation Safety Board of Canada – TSB, 2003.
- [9] *Rail Accident Report: Passenger train derailment near East Langton, Leicestershire*, Rail Accident Investigation Branch – RAIB, Department for Transport, 2012.
- [10] D. Stamenkovi , *Održavanje železnih vozila*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2011.
- [11] UIC 501, *Visibility of rolling stock axle-boxes to fixed hot axle-box detection systems*, International Union of Railways, 2008.
- [12] *Hot box and hot wheel detections system*, Phoenix MB, Voestalpine, <http://www.voestalpine.com/vae/en.html>
- [13] M. Biži , D. Petrovi , M. Tomi , Z. inovi , *Detection of overheating in axle-boxes of railway vehicles*, Proceedings of the XV International Scientific-Expert Conference on Railways – "RAILCON 2012", pp. 145-148, Niš, Serbia, 2012.
- [14] D. Petrovi , M. Tomi , Z. inovi , M. Biži , *Measuring systems for testing the safety and security of railway vehicles*, Academic journal "Mechanics Transport Communications", Sofia, Bulgaria, issue 3, part 2, pp. VI-20-VI-28, 2011.

## SUMMARY

## DETECTION OF FAILURES OF AXLE-BEARINGS OF RAILWAY VEHICLES

*The failure of axle-bearing is one of the most common causes of derailments of railway vehicles which are usually accompanied by huge material damage and human casualties. Modern railways are working intensively on the development and implementation of appropriate systems for early detection of axle-bearing malfunctions, which are typically manifested by increasing of its temperature. The most common approach is based on the use of wayside systems or checkpoints located in certain places along the track. There is also an innovative approach that involves using the system for continuous measuring and on-line monitoring of axle-boxes temperature. The main aim is to provide early detection of malfunctions of the axle-bearing and prevention of the potential derailment. This paper analyses the existing solutions for the detection of axle-bearings malfunctions with special emphasis on the working principle and the main advantages and disadvantages. The paper presents the basics of the one newly developed wireless measuring system for on-line monitoring of axle-boxes temperature. The measuring system was tested in real conditions and can be successfully applied to the commercial railway vehicles. The main conclusion is that systems for on-line monitoring of axle-bearings temperatures are far more efficient than wayside systems. Obtained results may be important for those who deal with these and similar problems, problems of development, exploitation and maintenance of railway vehicles, strategies, regulations, etc.*

**Key words:** detection, malfunction, axle-bearing failure, temperature, wheelset, railway vehicles