

# UTVRĐIVANJE KVALITETE VAGONSKIH OSOVINA POMOĆU NDT METODA

Ivan **PETROVIĆ**, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, FERIT, Osijek, Hrvatska;  
[ipetrovic81@gmail.com](mailto:ipetrovic81@gmail.com)

Ivan **SAMARDŽIĆ**, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, Hrvatska; [ivan.samardzic@sfsb.hr](mailto:ivan.samardzic@sfsb.hr)

Marinko **STOJKOV**, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, Hrvatska; [mstojkov@sfsb.hr](mailto:mstojkov@sfsb.hr)

**SAŽETAK** - U radu se obrađuje problematika utvrđivanja pojave grešaka u unutrašnjosti osovine. Ovakva uočena oštećenja osovina poznata su pod nazivom kovačka zvijezda koja mogu dovesti do raspadanja osovine i teških posljedica u prometu željezničkog prometa. U okviru istraživanja provedena je detaljna ultrazvučna kontrola pregleda vagonских osovina u mreži hrvatskih željeznica s ciljem smanjenja opasnosti od pojave napuknuća osovina uslijed umora materijala. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao podloga za izradu tehničkih propisa za održavanje željezničkih strojeva u mreži hrvatskih željeznica.

**Ključne riječi:** nerazorna ispitivanja, napuknuće osovina, hrvatske željeznice.

## DETERMINATION OF WAGON AXELS QUALITY BY NDT METHODS

**ABSTRACT** – The paper deals with the problem of detecting the faults in the shaft interior. Such aforesaid axle damage is known as blackheads which can lead to shaft decompression resulting in fatal consequences in the traffic of rail traffic. In the framework of the research, a detailed ultrasonic inspection of the sectional inspection of wagon axes in the Croatian Railways network was carried out with the aim of reducing the risk of axle breakdown due to material fatigue. The obtained results can serve as a basis for the development of technical regulations for the maintenance of railway vehicles in the Croatian Railways Network.

**Keywords:** non-destructive testing, wheel axle, Croatian railways

### 1. UVOD

Ostvarivanje međudjelovanja europskog željezničkog sustava zahtijeva od upravitelja željezničke infrastrukture da posjeduje planove održavanja infrastrukturnog podsustava za svaku konvencionalnu prugu [1].

Ovaj plan treba sadržavati pregled strojeva te strategiju sprečavanja umora materijala uslijed kotrljanja vagonских osovina. Puknuća vagonских osovina ili njihova određena oštećenja, obično su posljedica umora materijala, a imaju utjecaj na smanjenje životnog vijeka vagonских osovina, povećanje troškova

održavanja te mogu prouzročiti katastrofalne posljedice na pružni promet [2]. Povećana frekvencija prometa, osovinskog opterećenja i brzine doprinose umoru materijala i ugrožavaju sigurnost željezničkog prometa. Predmet istraživanja u ovom radu su osovinska oštećenja poput tzv. kovačkih zvijezda – nastanak potencijalnih pukotina. U radu se upućuje na potrebitost ranog otkrivanja nesavršenosti u unutrašnjosti osovine primjenom odgovarajućih metoda ispitivanja bez razaranja za kontrolu osovina, kao i preventivne aktivnosti održavanja [4-7]. Uspješno upravljanje osovinskim oštećenjima čest je problem širom svijeta.

Upravitelj infrastrukture treba prilagoditi strategiju održavanja lokalnim uvjetima kako bi se postigla poboljšana sigurnost prometa.

Istraživanje je provedeno ultrazvučnom kontrolom tijekom periodičkog pregleda vagonskih osovina nakon 10000 prevezenih kilometara, nakon kojih se može pretpostaviti da se mogu očekivati greške uslijed umora materijala [3].



Slika 1 Pripriježene vagonске osovine za ultrazvučno ispitivanje

## 2. POUZDANOST REZULTATA NDT ISPITIVANJA

Nerazorna ispitivanja neizostavna su u sustavu osiguranja u vrlo kratkom vremenu na konstrukcijama i dijelovima opreme prije i za vrijeme rada, sprečavaju se nepredviđeni zastoji i havarije, smanjuju troškovi te štiti okoliš [5]. Ispitivanjem se ne oštećuje ni površina ni materijal, a na temelju ocjene rezultata ispitivanja može se donijeti odluka o daljnjoj uporabi. Zadatak kontrole bez razaranja je da primjenom ponovljivih tehnika ispitivanja garantira da ispitni objekt ne sadrži grešku veću od dozvoljene.

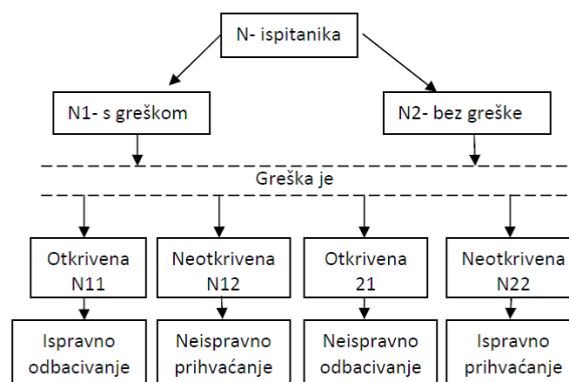
Pod pojmom greške podrazumijevaju se sve nepravilnosti, odnosno prekidnosti strukture materijala, površinske ili volumne. Najopasnije su pukotine koje su po definiciji vrlo fina odvajanja materijala čija je duljina na površini najčešće deset puta veća od dubine, a širina oko deset puta manja od dubine. Većinom se teško otkriju direktnim vizualnim pregledom bez pomagala, prvenstveno zbog uskog otvora na površini i nedovoljnog kontrasta u odnosu na okolnu površinu.

Iz tog razloga razvijeno je više metoda za otkrivanje površinskih prekidnosti, ali u praksi najčešća su ispitivanja magnetskim česticama i penetrantska ispitivanja.

Pouzdanost rezultata ispitivanja ovisi o mnogo čimbenika, a za pojašnjenje potrebno je definirati osjetljivost metoda kontrole kvalitete, vjerojatnost otkrivanja grešaka i vjerojatnost interpretacije rezultata ispitivanja.

Osjetljivost je najznačajniji parametar metode kontrole kvalitete i mora biti unaprijed propisan za svako ispitivanje. Osjetljivost se definira najmanjom greškom ili indikacijom neke mjerene veličine, koja se primijenjenom metodom ispitivanja još može razlučiti od šuma.

Kada je cilj otkrivanje greške, ishod ispitivanja može biti različit kao što prikazuje slika 2.



Slika 2 Vjerojatnost otkrivanja greške

Osim ispravnog prihvaćanja ili odbacivanja, drugi ili treći ishod vode krivom zaključku, tj. prihvaćanju objekta s greškom i odbacivanju objekta bez greške. Ove ishode treba reducirati ili ovisno o objektu ispitivanja dati prednost jednom od njih. Konstrukcije koje eventualnom havarijom zbog neotkrivenih grešaka mogu uzrokovati veliku opasnost za materijalna dobra ili ljudski život treba svakako svrstati u one kod kojih se ne tolerira prihvaćanje.

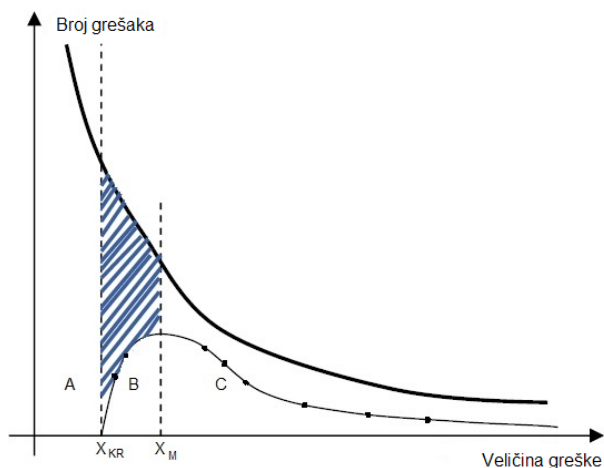
Vjerojatnost otkrivanja grešaka je u znatnoj mjeri određena prije provođena ispitivanja. Greška se smatra otkrivenom, ukoliko su utvrđeni oni parametri greške koji su propisanom metodom kontrole trebali biti utvrđeni.

Parametri grešaka su sljedeći:

- položaj,
- veličina,
- usmjerenost,
- učestalost ili brojnost.

Svaki od ovih parametara može imati više dimenzija. Položaj i veličinu pogreške određuju tri dimenzije.

Stvarna distribucija grešaka u pravilu je nepoznata; inženjerskom logikom može se zaključiti da je broj postojećih grešaka u svakoj tvorevini u odnosu na veličinu grešaka raspoređen približno u skladu s krivuljom prikazanom na slici 3.



**Slika 3** Raspored grešaka u tvorevini s najvećom vjerojatnosti o pojavljivanju

Dio A označava skup grešaka koje se ne mogu otkriti uz graničnu osjetljivost metode. Radi se o greškama mikro veličina.

Dio C je područje visoke vjerojatnosti otkrivanja grešaka, tj. može se smatrati da će u pravilu biti otkrivene sve greške koje se veličinom svrstavaju u ovo područje.

Područje B obuhvaća greške čija veličina prelazi prag osjetljivosti metode. Greške u ovom području čine upravo onaj dio grešaka koje smanjuju pouzdanost ispitivanja. Taj broj pogrešaka se može izračunati i time odrediti pouzdanost ispitivanja.

Budući da je broj grešaka proporcionalan površini, ispod krivulje može se postaviti izraz:

$$n \cdot (x_{KR} < x < x_M) = n_u \int_{x_{KR}}^{x_M} b \cdot e^{-bx} dx \quad (5)$$

Gdje je:

$n$  – broj grešaka u intervalu  $X_{KR} < X < X_M$

$n_u$  – teoretski ukupan broj grešaka,

$x_{kr}$  – najmanja greška koja se može otkriti,

$x_M$  – greška koja se otkriva s najvećom vjerojatnošću,

$b$  – prilagodbeni koeficijent.

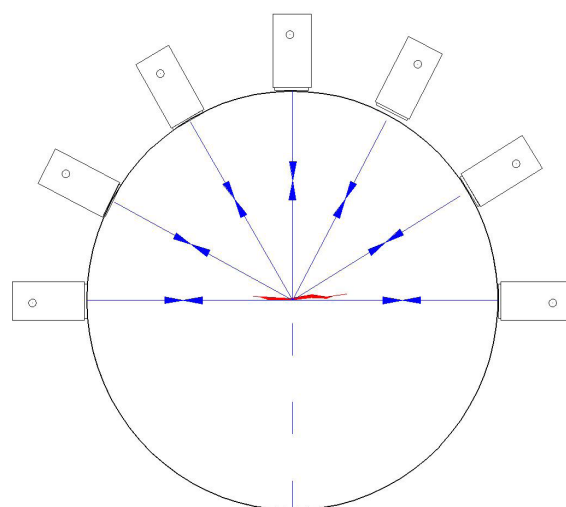
Temeljem provedenog ispitivanja dobiva se krivulja rasporeda grešaka koja omogućuje proračun u skladu s navedenom pretpostavkom i iskazuje pouzdanost putem broja neotkrivenih grešaka (N12).

### 3. ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE OTKIVAKA - VAGONSKIH OSOVINA

Ispitivanje otkivaka na više načina je povoljnije od ispitivanja odljevaka ultrazvukom. Osnovni razlog je sitnozrnata i homogena struktura materijala koja ne uzrokuje veće prigušenje ultrazvuka radi znatno manjeg raspršivanja te se ispitivanje provodi pomoću viših ispitnih frekvencija, što osigurava i veću osjetljivost. Bolje je otkrivanje grešaka jer su kod obrade kovanjem, valjanjem ili ekstrudiranjem, umjesto volumnog, poprimile oblik koji osigurava veću mogućnost refleksije.

U slučaju teških otkivaka koji su vrlo skupi, ispitivanje treba planirati što ranije tijekom proizvodnje i ponavljati ga nakon provedenih daljnjih obrada tijekom završne kontrole.

Prozvučivanje se provodi u više smjerova, ovisno o vrsti greške koje treba otkriti i o geometriji izratka. Skeniranje se može planirati po najmanjoj površini koja osigurava prozvučivanje objekata u željenom smjeru i volumenu.



**Slika 4** Ispitivanje otkivaka ultrazvučnom metodom odjeka



Ispitivanje ultrazvukom provodi se u svrhu otkrivanja unutrašnjih grešaka. Prije ispitivanja potrebno je izraditi postupak koji olakšava očitavanje pripadnog oscilograma ispitivanja za svaki položaj sonde. Pri ispitivanju istražuju se promjene odstupanja od očekivanog oscilograma, za svaki položaj sonde tijekom skeniranja objekta.

### 3.1. Postupak ispitivanja

Ispitivanje osovina treba se provoditi metodom odjeka prema normi za ultrazvučno ispitivanje otkivaka HRN EN 10228-3:2016 [7], uz kriterij prihvatljivosti - ne smije biti grešaka u unutrašnjosti osovine.

Oprema koja se koristila za ultrazvučno ispitivanje je OLYMPUSOV uređaj EPOCH 600, ispitna sonda 0° - PF4R-10 4MHz, kalibracijski etaloni V1 i V2, kontaktno sredstvo strojna mast uz pisanu radnu uputu za ultrazvučno ispitivanje.



*Slika 5 Vagonska osovina pripremljena za ultrazvučno ispitivanje*

## 4. REZULTATI

Ispitivanja su se provodila na teretnom vagonu Uaai. Br 33 78 9972 001-1. Na devet osovina uočene su linearne indikacije, u sredini osovine dužine cca 70 mm. Pošto je otkriven veći broj indikacija, radi daljnjeg istraživanja i uzroka indikacija provedeno je istraživanje rezanjem jedne osovine tako da se otkrije uzrok indikacije. Nakon finije strojne obrade presjeka vagonске osovine uočen je uzrok ultrazvučne indikacije. Na slici 6 i 7 prikazan je uzrok ultrazvučne indikacije naknadnim ispitivanjem presjeka penetrantskom metodom ispitivanja.



*Slika 6 Presjek vagonске osovine promjera 160 mm ispitane penetrantskom metodom.*



*Slika 7 Presjek vagonске osovine promjera 160 mm ispitane penetrantskom metodom.*

## 5. DISKUSIJA

U ovom radu opisan je rezultat ispitivanja osovina ultrazvučnom metodom kontrole kvalitete prema normi HRN EN 10228-3, uz pisanu radnu uputu za ultrazvučno ispitivanje. Indikacija koja je uočena u svih devet osovina neprihvatljiva je sa stajališta kriterija kvalitete, međutim naknadno se postavlja pitanje je li potrebno odbaciti objekt u potpunosti ili se objekt može koristiti za neku drugu upotrebu. Npr, za lokalni prijevoz po hali, u krugu tvrtke u kojoj su ispitivanjem uočene indikacije? Kada je opravdano u potpunosti odbaciti cijeli objekt?

## 6. ZAKLJUČAK

Metode bez razaranja koriste se za kontrolu kvalitete u raznim industrijskim sektorima, npr. u zrakoplovstvu, proizvodnoj i procesnoj industriji, brodogradnji, prometu, u ispitivanju nuklearnih i drugih energetske postrojenja i offshore radi utvrđivanja kvalitete tijekom proizvodnje i korištenja objekata u cilju smanjenja havarija i negativnog utjecaja na živote i imovinu ljudi te u interesu zaštite okoliša. Ukoliko jedna metoda – npr. ultrazvuk – pobuđuje sumnju s obzirom na vrstu i oblik jedne ili više indikacija koje ukazuju na postojanje greške, prihvatljive ili ne, uvijek je dobro provesti i druge metode ispitivanja ako ih je moguće izvesti na objektu, radi utvrđivanja pravog stanja.

## ZAHVALA

Autori žele zahvaliti tvrtci Remont i proizvodnji željezničkih vozila iz Slavenskog Broda tijekom provođenja ovog istraživanja.

## 7. LITERATURA

- [1] European Commission; Technical Specification for Interoperability Subsystem Infrastructure, Official Journal of the European Communities, 2011.
- [2] ORR Office of Rail Regulation at Hatfield: A final Report by Independent Investigation Board, July 200 London.
- [3] Cannon, D.F. Pradier, H.: Rail Rolling contact Fatigue Research by the European Rail Research Institute, Wear 191 (1996), p-p.1-13.
- [4] UIC- International Union of Rail Ways: "UIC Code 712 Rail Defects", 2007
- [5] Krstelj V.: Ultrazvučna kontrola, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [6] HRN EN 10228-3, Nerazorno ispitivanje čeličnih otkivaka 3. Dio, Hrvatski zavod za norme, Zagreb 2016.