

MLADEN ŽARKOVIĆ\*, ŽELJKO MITROVIĆ\*\*, LAZAR MOSUROVIĆ\*\*\*, JOVO STELJIĆ\*\*\*\*, FILIP ŠČEKIĆ\*\*\*\*\*

## BESKONTAKTNO MERENJE PARAMETARA GEOMETRIJE KOLOSEKA NON - CONTACT MEASUREMENT OF TRACK GEOMETRY PARAMETERS

UDK: 656.2+625.1/.5

### REZIME:

Sa tendencijom razvoja i unapređenja železnice, povećavanjem brzina na železničkim prugama i zahtevima za povećavanjem propusne moći pruga usled porasta obima saobraćaja, proporcionalno rastu i izazovi u pogledu održavanja železničke infrastrukture. Beskontaktnim merenjem parametara geometrije koloseka i analizom rezultata merenja moguće je kreirati kvalitetne planove i strategije upravljanja održavanjem železničke infrastrukture u kratkom vremenskom periodu i pravovremeno preduzeti mere za otklanjanje registrovanih grešaka na koloseku. Na taj način se bezbednost podiže na znatno viši nivo, izbegavaju neplanirani zatvori koloseka, omogućava redovitost saobraćaja i umanjuju troškovi neadekvatnog i neplanskog održavanja železničke infrastrukture.

**Ključne reči:** železnička infrastruktura, upravljanje održavanjem, merni sistemi, gornji stroj, šine

### SUMMARY:

With the tendency to develop and improve the railways, increasing the speed on the railways and the requirements for increasing the throughput of the railways due to the increase in the volume of traffic, the challenges of maintaining the railway infrastructure also grow proportionally. By non-contact measurement of track geometry parameters and analysis of measurement results, it is possible to create high-quality plans and management strategies for the maintenance of the railway infrastructure in a short time and take timely measures to eliminate registered errors on the track. On that way, safety will be raised to a significantly higher level, unplanned track closures will be avoided, regular traffic will be enabled and the costs of inadequate and unplanned maintenance of the railway infrastructure will be reduced.

**Key words:** railway infrastructure, railroad maintenance, measuring systems, superstructure, rails

\* Mladen Žarković, Direkcija za železnice, Srbija, Beograd, Nemanjina 6, zarkovic.mladen11@gmail.com

\*\* Željko Mitrović, Infrastruktura železnice Srbije, Srbija, Beograd, Nemanjina 6, zeljcom@gmail.com

\*\*\* Lazar Mosurović, Direkcija za železnice, Srbija, Beograd, Nemanjina 6, lazar.mosurovic@raildir.gov.rs

\*\*\*\* Jovo Steljić, Direkcija za železnice, Srbija, Beograd, Nemanjina 6, jovo.steljic@raildir.gov.rs

\*\*\*\*\* Filip Ščekić, Direkcija za železnice, Srbija, Beograd, Nemanjina 6, filip.scekic@raildir.gov.rs

## 1. UVOD

Kvalitetno održavanje železničke infrastrukture predstavlja preduslov za bezbedno funkcionisanje železničkog saobraćaja. Kako bi Upravljač infrastrukture kvalitetno održavao železničku infrastrukturu, neophodno je da razvije funkcionalnu strategiju održavanja. Značajnu ulogu u formiranju strategije održavanja železničke infrastrukture čini snimanje parametara geometrije koloseka.

Evropski komitet za standardizaciju CEN (Comité Européen de Normalisation) izdao je serije standarda EN 13231 (deo 1 – 5) i EN 13848 (deo 1 – 6) kojima se definišu jedinstveni kriterijumi za ocenu kvaliteta geometrije novih i remontovanih koloseka, odnosno koloseka u eksploataciji, na osnovu merenja parametara geometrije koloseka, čija je primena obavezna u svim zemljama članicama (Pančić i Mičić, 2015).

Standard EN 13848-1 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 1: Definisane parametara geometrije koloseka* definiše osnovne parametre geometrije koloseka i minimalne zahteve za metode i merne sisteme i analize dobijenih rezultata. Standardom EN 13848-2 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 2: Merni sistemi - Vozila za merenje parametara geometrije koloseka*, utvrđuju se minimalni zahtevi za principe i sisteme merenja parametara geometrije koloseka, sa ciljem dobijanja rezultata koji su uporedivi prilikom izvođenja merenja na istom koloseku. Standardom EN 13848-3 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 3: Merni sistemi - Mašine za građenje i održavanje koloseka* utvrđuju se minimalni zahtevi koji moraju da ispune merni sistemi ugrađeni u mašine za građenje i održavanje koloseka, kako bi se ispunili uslovi za određivanje ocene kvaliteta geometrije koloseka upotrebom jednog ili više parametara koji su definisani standardom EN 13848-1. Standardom EN 13848-4 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 4: Merni sistemi - Ručni i laki uređaji*, definiše minimalne zahteve koje je potrebno da ispune ručni merni sistemi i merna kolica za merenje parametara geometrije koloseka, u cilju ocene kvaliteta geometrije koloseka, a na osnovu standarda EN 13848-1. Standard EN 13848-5 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 5: Nivoi kvaliteta geometrije koloseka - Kolosek na otvorenoj pruzi, u skretnicama i ukrštajima*, propisuje minimalne zahteve za nivoje kvaliteta geometrije koloseka i utvrđuje granice sigurnosti za svaki parametar definisan u EN 13848-1, koji se meri primenom odgovarajućih mernih sistema

definisanih u EN 13848-2, EN 13848-3 i EN 13848-4. Poslednji deo standarda, EN 13848-6 *Primene na železnici - Kolosek - Kvalitet geometrije koloseka - Deo 6: Određivanje kvaliteta geometrije koloseka*, definiše određivanje kvaliteta geometrije koloseka, koji je zasnovan na parametrima definisanim u EN 13848-1 i navodi različite klase geometrije koloseka koje treba uzeti u razmatranje (Pančić i Mičić, 2015; [https://iss.rs/sr\\_Latn/](https://iss.rs/sr_Latn/), 05.08.2023).

S obzirom da je merenje parametara geometrije koloseka najvažniji, ali ne i jedini, pokazatelj kvaliteta geometrije koloseka, u najsavremenijim shvatanjima održavanja železničke infrastrukture pojavljuje se više različitih mogućnosti u pogledu konstrukcije i usavršavanja mernih sistema za vršenje merenja parametara geometrije koloseka. Dva osnovna načina merenja parametara geometrije koloseka su kontaktno i beskontaktno merenje. Oba načina se mogu primeniti za merenje apsolutne i relativne geometrije koloseka. U ovom radu, razmatraće se beskontaktno merenje parametara relativne geometrije koloseka, pri čemu će se kao ugledni primer prikazati sistem merenja geometrije koloseka mernim kolima u vlasništvu Akcionarskog društva za upravljanje javnom železničkom infrastrukturom Infrastruktura železnice Srbije „Sever 1435“, rezultati merenja i diskusija rezultata.

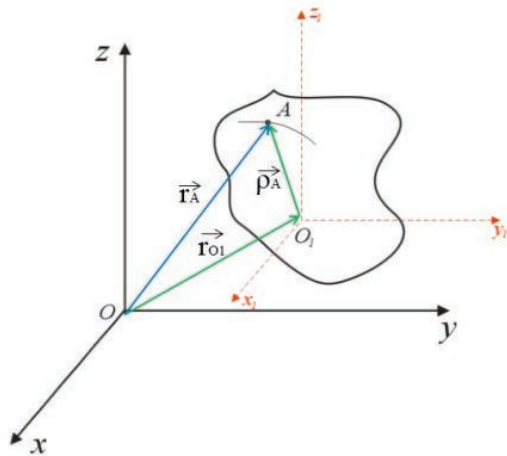
## 2. RELATIVNA GEOMETRIJA KOLOSEKA I PRINCIPI MERENJA BESKONTAKTNIM MERNIM SISTEMIMA

### 2.1. Relativan, prenosan i aposlutan položaj tačke u prostoru

Beskontaktno merenje geometrije koloseka može se koristiti za merenje relativne geometrije koloseka. Ukoliko se parametar geometrije koloseka meri u nekoj tački A, koja je čvrsto vezana za neko telo i kreće se zajedno sa unapred definisanim pokretnim koordinatnim sistemom, takvo kretanje naziva se relativno kretanje tačke u prostoru (slika 1). Pored toga, postoji prenosno i apsolutno kretanje tačke. Prenosno kretanje tačke A predstavlja kretanje unapred definisanog pokretnog koordinatnog sistema  $Ox_1y_1z_1$  u odnosu na neki nepokretni koordinatni sistem  $Oxyz$ . Kretanje tačke A u odnosu na nepokretni koordinatni sistem  $Oxyz$  naziva se apsolutno kretanje tačke. Apsolutno kretanje tačke  $\vec{v}^A$  predstavlja zbir vektora relativnog  $\vec{v}^r$  i prenosnog kretanja  $\vec{v}^p$ , kako je prikazano u izrazu (1).

$$\vec{v}^A = \vec{v}^p + \vec{v}^r \quad (1)$$

Na slici 1 prikazane su sve prethodno navedene vrste kretanja.



Slika 1. Vrste kretanja tačke u prostoru u odnosu na pokretni i nepokretni koordinantni system ([http://mfmehanika.weebly.com/uploads/1/4/7/3/14731462/predavanje\\_3.pdf](http://mfmehanika.weebly.com/uploads/1/4/7/3/14731462/predavanje_3.pdf), 11.08.2023.)

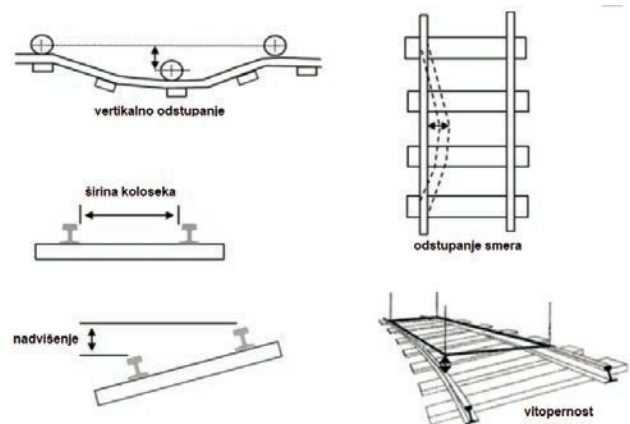
Na prethodno opisan način funkcioniše i beskontaktno merenje relativne geometrije koloseka. Bitno je napomenuti da relativna geometrija koloseka podrazumeva merenja parametara geometrije na osnovu kojih se određuje kvalitet koloseka u eksploataciji dok, sa druge strane, merenje apsolutne geometrije koloseka predstavlja merenje parametara geometrije u odnosu na položaje geodetskih tačaka definisanih projektom. Relativna geometrija ključna je za kreiranje planova održavanja, za izradu planova sanacije i obnove koloseka, dok se apsolutna geometrija koristi za trasiranje pruga, izradu projekata obnove koloseka i za potrebe planiranja radova na mehanizovanom održavanju koloseka odnosno vraćanje železničke pruge u prvobitni projektovani prostorni položaj.

Na slici 2 prikazani su parametri relativne geometrije koloseka koji se dobijaju metodama beskontaktnog merenja. U nastavku su date definicije osnovnih parametara geometrije koloseka (Pančić i Mičić, 2015):

- *vertikalno odstupanje*, odstupanje nivoa gornje površi glave bilo koje šine u vertikalnom pravcu, izraženo kao pomeranje u odnosu na srednji vertikalni položaj (referentna linija), koje pokriva unapred definisane talasne dužine i koje se sračunava na osnovu uzastopnih merenja (duž koloseka);
- *širina koloseka*, najmanje rastojanje između pravih koje su upravne na dodirnu površ i dodiruju obe

glave šine, koja se nalazi na unutrašnjoj bočnoj površi glave šine, u zoni 0 do 14 mm ispod dodirne površi;

- *odstupanje smera vozne šine*, odstupanje uzastopne pozicije neke tačke u bočnoj ravni za bilo koju šinu, izraženo kao odstupanje u odnosu na srednji horizontalni položaj (referentna linija), koje pokriva unapred definisane talasne dužine i koje se sračunava na osnovu uzastopnih merenja (duž koloseka);
- *nadvišenje*, razlika visina naspramnih vozni površi glava šina i računa se na osnovu ugla dodirne površi i horizontalne referentne ravni i
- *vitopernost*, promena nadvišenja na datom rastojanju duž koloseka.



Slika 2. Parametri geometrije koloseka dobijeni merenjem relativne geometrije prema EN 13848 – 1 (Kite i dr., 2020)

## 2.2. Beskontaktni merni sistem SOKOL na mernim kolima „Sever 1435”

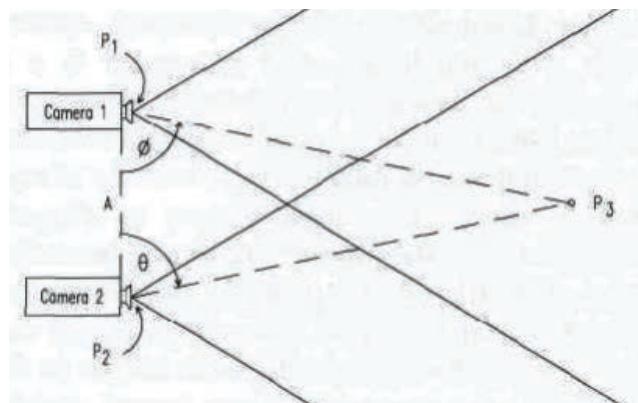
U današnje vreme, s obzirom na značaj merenja parametara geometrije koloseka za održavanje železničke infrastrukture, sve je više proizvođača koji primenjuju najnovije tehnologije kako bi konstruisali nove i unapredili postojeće merne sisteme. Kako je prisutna sve veća potreba za izgradnjom pruga za velike brzine i održavanje takvih pruga podrazumeva brzo i efikasno reagovanje u kratkom vremenskom roku, izbegavanje dugačkih zatvora koloseka i obustave saobraćaja, cilj proizvođača je da konstruišu takvu mernu opremu, koja će omogućiti veliku brzinu merenja, prikaz rezultata u realnom vremenu i njihovu trenutnu analizu i generisanje izveštaja. U Republici Srbiji, za potrebe snimanja parametara relativne geometrije koloseka, koriste se merna kola „Sever 1435”, prikazana na slici 3, koja funkcionišu po principu beskontaktnog merenja.



Slika 3. Merna kola „Sever 1435“

Beskontaktni merni sistem tipa SOKOL ugrađen na merna kolima „Sever 1435“ omogućava merenje parametara geometrije koloseka brzinama od 0 do 250 km/h (<https://tvema.com/638>, 14.08.2023.). Zbog ograničenja brzine mernih kola usled nabavke novih mernih sistema, trenutna brzina snimanja parametara geometrije koloseka je ograničena na 110 km/h. Opseg snimanja parametara geometrije koloseka velikim brzinama omogućen je kombinacijom dve metode: aktivne optičke triangulacije i inercijalne navigacione metode. Aktivna optička triangulacija podrazumeva emitovanje laserskih zraka preko sistema ogledala i prijemnih video kamera. Senzor na poznatoj udaljenosti od lasera registruje reflektovani zrak, koji pada pod poznatim uglom. Na osnovu sličnosti trouglova i primenom trigonometrijskih digitalnih funkcija, računaju se položaji tačaka. Aktivni triangulacioni sistemi postavljaju kontrolisani izvor svetlosti (laser), u jedno od temena trougla, tako da taj izvor bude usmeren ka šini koja se nalazi u temenu trougla. Senzor se postavlja u preostalo teme i takođe je usmeren ka šini. Svetlost od izvora se reflektuje od šinu, a deo reflektovane energije pada na detektor. Periferna pozicija tačke koju detektor registruje (slika 4), omogućava kvantitativno merenje nepoznatog ugla  $\varphi$ , i određuje udaljenost pomoću sinusoidnog zakona.

Inercijalni navigacioni sistem (IMU) koji se koristi u sklopu mernog sistema služi za merenje parametara navigacije (tačaka) u prostoru, pri čemu se za obradu podataka koriste računari i senzori. Promene kretanja tačaka na šinama u prostoru detektuju se merenjem njihovog translatorskog kretanja (akcelerometrima) i rotacije, odnosno merenje ugaone brzine sistema u odnosu na inercijalni referentni okvir (žiroskopima). IMU određuje svoju početnu



Slika 4. Princip aktivne optičke triangulacije (<http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/mur/04.triangulacija.pdf>, 24.08.2023.)

poziciju i brzinu, iz nekog drugog izvora (izmeri je operator, GPS sa satelitskim prijemnikom i slično), a zatim izračunava svoju poziciju i ažurira brzinu integrisanjem informacija dobijenih od senzora. Merni sistem pruža korisniku podatke o parametrima geometrije koloseka u trodimenzionalnoj projekciji, u realnom vremenu (Uzunović i Lemeš, 2022). Spoljašnja jedinica mernog sistema prikazana je na slici 5.

Merni sistem se jednostavno montira na ram obrtnog postolja mernih kola. Dizajn jedinica mernog sistema je lagan, lak za montažu i demontažu. Laseri koji su implementirani u merni sistem SOKOL spadaju u klasu 3b – mogu izazvati oštećenje vida ukoliko se ljudsko oko izloži direktnom uticaju lasera (Uzunović i Lemeš, 2022). Laseri koji emituju zračenje na šinu, vidljivi su ljudskim okom u tamnim uslovima (slika 6). Kada je laser uključen i sistem se nalazi u režimu merenja parametara geometrije koloseka, uključena je treptuća narandžasta svetlost koja upozorova na rad lasera.



Slika 5. Spoljašnja jedinica beskontaktnog mernog sistema



Slika 6. Laserski snop na šini vidljiv ljudskim okom u tamnim uslovima sistema

### 3. TIPOVI GREŠAKA GEOMETRIJE KOLOSEKA I GENERISANJE IZVEŠTAJA

Tokom snimanja relativne geometrije koloseka, svi rezultati se prikazuju na računarima koji se nalaze unutar mernih kola „Sever 1435” i kojima rukuju operateri. Rezultati se prikazuju u približno realnom vremenu, sa kašnjenjem prikaza rezultata u softveru usled potrebe obračuna, pri čemu se kašnjenje manifestuje u rasponu 100 – 200 m. Svi snimljeni podaci merenja se čuvaju u memoriji računara i odmah su spremni za dalje analize, koje podrazumevaju izbor odgovarajućih parametara na osnovu kojih će softver izvršiti proračune izmerenih vrednosti i prikazati greške u relativnoj geometriji koloseka. U slučaju merenja pruga u eksploataciji, u softveru se vrši rekalkulacija izmerenih parametara geometrije koloseka na nekoj deonici sa podacima o graničnim vrednostima dozvoljenih grešaka u geometriji koloseka, po

klasama pruga, u skladu sa standardom EN 13848-5 *Primene na železnici – Kolosek – Kvalitet geometrije koloseka – Deo 5: Nivoi kvaliteta geometrije koloseka – Kolosek na otvorenoj pruzi, u skretnicama i ukrštajima* (slika 7), dok se za potrebe prijema radova na novom ili rekonstruisanom koloseku prilikom merenja parametara geometrije koloseka koriste granične vrednosti iz standarda EN 13231-1 *Primene na železnici – Kolosek – Prijem radova – Deo 1: Radovi na koloseku u zastoru od tucanika - Otvorena pruga, skretnice i ukrštaji*. Standardom EN 13848-5 propisane su tri granice dozvoljenih grešaka u geometriji koloseka za svaki parametar: AL (GU) – granica upozorenja; IL (GI) – granica intervencije, IAL (GHI) – granica hitne intervencije. Svaka od ovih granica zahteva preduzimanje odgovarajućih aktivnosti na održavanju železničke infrastrukture i pravovremenom reagovanju Upravljača. Kada se registruje parametar geometrije koloseka čija je izmerena vrednost veća

En-13848

	Class 1 0-80 km/h						Class 2 80-120 km/h					
	GHI	GI	GU	GU	GI	GHI	GHI	GI	GU	GU	GI	GHI
ŠIRINA KOLOSEKA (mm)	-11	-9	-7	25	30	35	-11	-9	-7	25	30	35
NADVIŠENJE (mm)	-15	-11	-6	6	11	15	-13	-9	-5	5	9	13
VITOPERNOST (mm)	-7	-5	-4	4	5	7	-7	-5	-4	4	5	7
D1 STABILNOST (mm)	-28	-19	-12	12	19	28	-26	-16	-10	10	16	26
D1 SMER (mm)	-22	-16	-12	12	16	22	-17	-12	-8	8	12	17
D0 STABILNOST (mm)												
D0 SMER (mm)												
D2 STABILNOST (mm)												
D2 SMER (mm)												

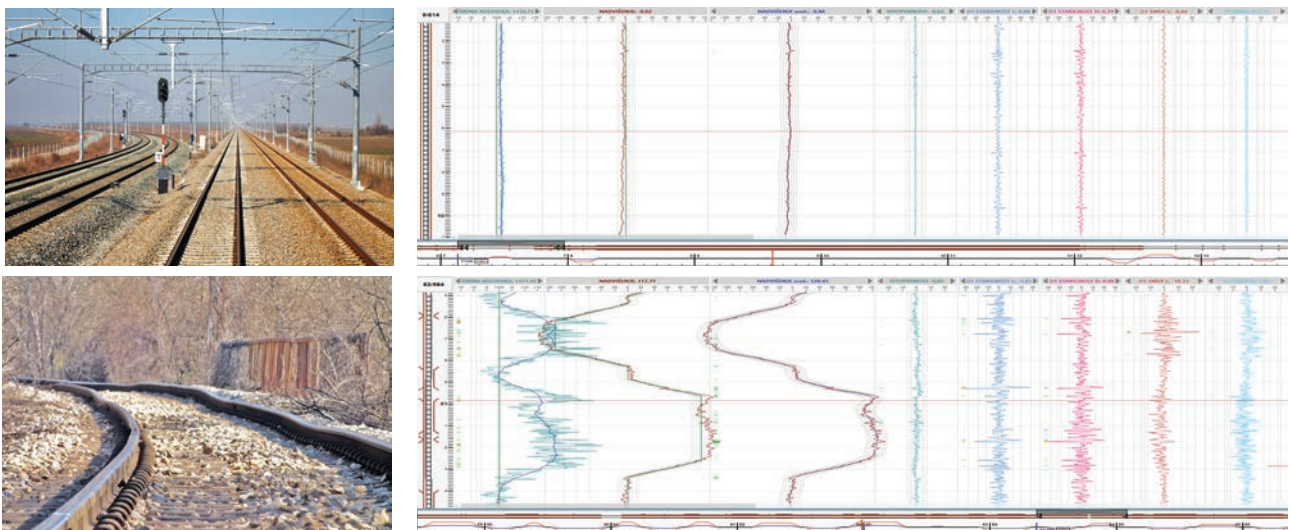
	Class 3 120-160 km/h						Class 4 160-230 km/h					
	GHI	GI	GU	GU	GI	GHI	GHI	GI	GU	GU	GI	GHI
ŠIRINA KOLOSEKA (mm)	-10	-8	-6	25	30	35	-7	-5	-4	20	23	28
NADVIŠENJE (mm)	-11	-8	-4	4	8	11	-9	-6	-3	3	6	9
VITOPERNOST (mm)	-7	-5	-4	4	5	7	-5	-4	-3	3	4	5
D1 STABILNOST (mm)	-23	-14	-8	8	14	23	-20	-12	-7	7	12	20
D1 SMER (mm)	-14	-9	-6	6	9	14	-12	-8	-5	5	8	12
D0 STABILNOST (mm)												
D0 SMER (mm)												
D2 STABILNOST (mm)							-20	-9	-6	6	9	20
D2 SMER (mm)							-12	-7	-3	3	7	12

Slika 7. Granične vrednosti parametara geometrije koloseka u eksploataciji po klasama pruga, prema EN 13848-5

od definisane granične vrednosti IAL (GHI), tada se moraju hitno preduzeti aktivnosti na sanaciji greške, privremeno prilagoditi brzina na spornoj deonici do hitnog otklanjanja greške ili zatvoriti deo pruge na kome je greška evidentirana sve do otklanjanja iste (SRPS EN 13848-5, 2017).

Prikaz podataka u približno realnom vremenu omogućava operateru na mernim kolima da prati stanje geometrije koloseka tokom merenja. Na slici 8 prikazani su primeri deonica pruga sa dobrom i

nezadovoljavajućom geometrijom koloseka, kao i dijagrami merenja parametara geometrije koloseka mernim sistemom SOKOL relevantni za prikazane deonice. Na dijagramima se može uočiti da se pri dobrom kvalitetu geometrije koloseka (slika 8, gore) ne zapaža skokoviti prikaz dijagrama, uz manifestovanje manjih pikova dijagrama za svaki mereni parametar, dok se na dijagramu sa nezadovoljavajućim kvalitetom geometrije koloseka (slika 8, dole) uočavaju izrazito skokoviti prikazi dijagrama merenih parametara geometrije koloseka, sa jako izraženim



Slika 8. Prikaz dobre (gore) i loše (dole) geometrije železničke infrastrukture i reprezentivni dijagrami

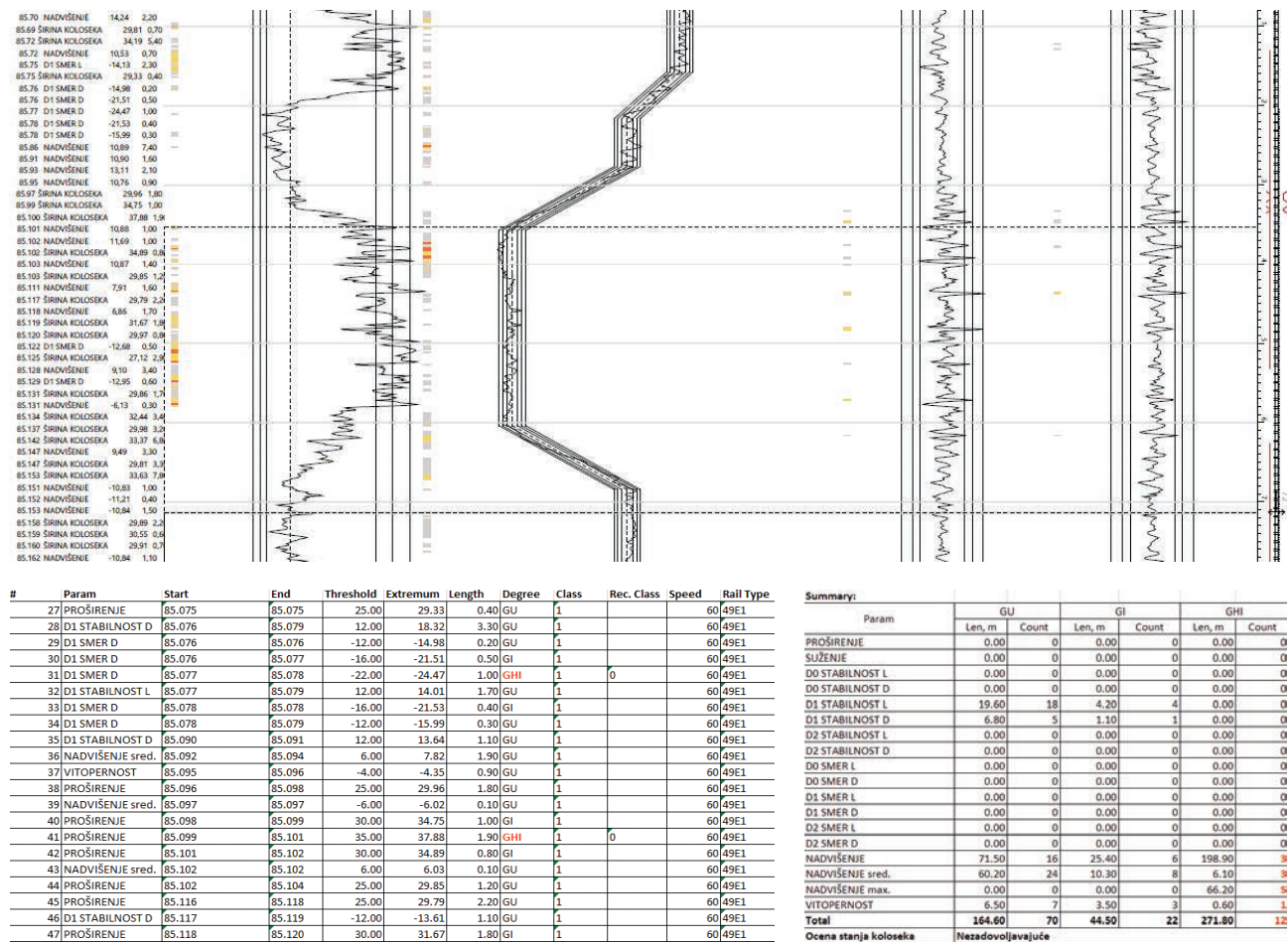
Beskontaktno merenje parametara geometrije koloseka

pikovima, koji zapravo predstavljaju greške u geometriji koloseka. Takvi pikovi su najčešće preliminarni pokazatelj da će na koloseku biti evidentirana greška u geometriji. Radi lakog čitanja dijagrama, uvozom graničnih vrednosti parametara geometrije koloseka u skladu sa odgovarajućim standardom, na dijagramima se pojavljuju po tri granične linije sa obe strane osovine koloseka, koje predstavljaju granične vrednosti, pri čemu se prelaskom linija dijagrama preko graničnih linija, dolazi do podatka o evidentiranju greške u geometriji koloseka i nivou jačine te greške.

Softver mernog sistema omogućuje upoređivanje informacija o stanju kvaliteta geometrije koloseka sa prethodno unetom bazom podataka ili bez unete baze podataka pruge koja se snima (SRPS EN 13848, 2017). Bazu podataka izrađuje Upravljač infrastrukture u odgovarajućem tabelarnom formatu, koja treba da sadrži sve projektne elemente neophodne za ispitivanje geometrije koloseka. Povlačenje baze podataka u softver mernog sistema

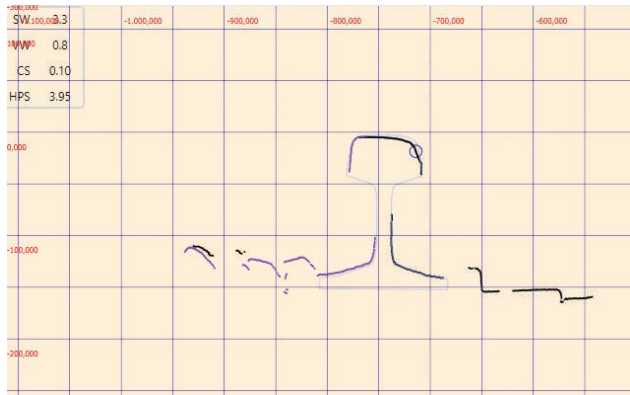
se vrši jednostavno. Vizuelnim pregledom pruge iz mernih kola i rezultatima beskontaktnog merenja geometrije koloseka, moguće je na brz i efikasan način evidentirati mesto na koloseku na kome se pojavljuje određni tip greške u geometriji i izvršiti potrebnu intervenciju. Ukoliko se greške na koloseku razmatraju nakon obavljenih mernih vožnji, korisniku softver pružiti tri vrste izveštaja, prikazanih na slici 9, i to: grafički izveštaj sa prikazom dijagrama mernih vožnji i naznačenim greškama u zavisnosti od kilometarskog položaja pruge, izveštaj o izolovanim greškama koloseka duž cele pruge na kojoj je vršeno geometrijsko snimanje i izveštaj sa sumarnim greškama koji se sastoji od grešaka u geometriji koloseka po svakom kilometru pruge i ocene stanja koloseka na osnovu broja evidentiranih grešaka i standardne devijacije (TQC std).

Na osnovu dobijenih izveštaja sa mernih vožnji, Upravljač infrastrukture može formirati planove održavanja koloseka u zavisnosti od prioriteta i mogućnosti na terenu. Pored osnovne funkcije



Slika 9. Grafički izveštaj (gore), izveštaj izolovanih grešaka (dole levo) i sumarni izveštaj (dole desno) sa merne vožnje

mernog sistema SOKOL, ovaj sistem može meriti i profil šine i pružiti podatke o habanju šine (slika 10), što je od velikog značaja za održavanje i negu šina u koloseku.



Slika 10. Profil šine dobijen prilikom merenja parametara geometrije koloseka

#### 4. DISKUSIJA REZULTATA MERNIH SNIMAKA

Mogućnosti beskontaktnog sistema za merenje parametara geometrije koloseka su velike. Generalno, rezultati merenja relativne geometrije koloseka beskontaktnim mernim sistemima koji funkcionišu po principu aktivne optičke triangulacije i inercijalnog navigacionog sistema su izuzetno pouzdani. Mnoge naučne studije pokazale su da rezultati dobijeni ovim metodama imaju izuzetno precizne i pouzdane vrednosti svih mernih parametara, pogotovo ukoliko se uzme u obzir korišćenje IMU navigacionog sistema za precizno lociranje.

Proizvođači merne opreme za ispitivanje parametara geometrije koloseka i dalje razvijaju svoje merne sisteme. U budućnosti, beskontaktno merenje geometrije koloseka će biti preduslov za brzo i efikasno održavanje železničke infrastrukture. U poređenju sa kontaktnim mernim sistema, prilikom merenja beskontaktnim mernim sistemima nema opasnosti od mehaničkih krahova elemenata sistema, jer ne postoji kontakt mernog sistema sa elementima koloseka, odnosno šinama. Primera radi, kod kontaktnog merenja geometrije koloseka, merenje se najčešće vršilo preko specijalnih mernih kolica koja su ostvarivala kontakt sa šinama pri čemu su se beležili rezultati parametara geometrije koloseka.

Rezultati dobijeni ovom metodom su lako čitljivi i pouzdani. Softver generiše tri tipa izveštaja, u kojima se lako mogu uočiti greške koje prelaze granične vrednosti, pri čemu su greške tipa IAL (GHI) označene crvenom bojom, radi lakšeg uočavanja.

Pored toga, na dijagramima merne vožnje, bojama (zeleno, žuto i crveno) su označene one vrednosti parametara geometrije koloseka koje prelaze granične vrednosti. U izveštajima izolovanih grešaka, dat je pregled svih grešaka koje su evidentirane na pruzi na kojoj se vršilo merenje, sa podacima o kilometarskom položaju greške, tipu greške i dužini na kojoj je evidentirana greška. U sumarnim izveštajima, prikazane su liste svih tipova grešaka geometrije koloseka u skladu sa EN 13848-1 koje su registrovane na svakom punom kilometru pruge na kojoj se vršilo geometrijsko snimanje, kao i ocena kvaliteta geometrije koloseka.

#### 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U ovom radu su predstavljene osnovne karakteristike beskontaktnih mernih sistema i rezultati merenja relativne geometrije koloseka ovim sistemima.

Kao glavne prednosti ovakvih sistema mogu se izdvojiti veliki opseg brzina pri kojima se merenja mogu izvoditi do 250 km/h, dobijanje rezultata u realnom i približno realnom vremenu, dobijanje preciznih rezultata relativne geometrije koloseka bez potrebe ostvarivanja bilo kakvog kontakta između šina i elemenata mernih sistema, mogućnost analize i generisanja detaljnih izveštaja merenja u skladu sa relevantnim graničnim vrednostima u zavisnosti od svrhe merne vožnje, jednostavno održavanje spoljašnje jedinice mernog sistema i mogućnosti detaljnog merenja profila i habanja šina. Kao mane ove metode mogu se istaknuti nerazvijenost metoda istovremenog merenja i apsolutne geometrije koloseka, potreba za posebnom pažnjom i preciznošću prilikom provere podešenosti beskontaktnog mernog sistema i usaglašenosti sa mehaničkim merilima, neophodno obezbeđenje neprekidne stabilne internet konekcije i GPS signala, kao i otežan pristup informacijama o konstruktivnim karakteristikama beskontaktnih mernih sistema, s obzirom da iste proizvođači i konstruktori često čuvaju kao poslovne tajne. Na osnovu analiza beskontaktnog merenja geometrije koloseka opisanih u ovom radu, dolazi se do zaključka da je ovakva metoda izuzetno poželjna za primenu na mreži Upravljača, čime se omogućuje kreiranje planova održavanja i sanacije grešaka na koloseku u eksploataciji, sa primarnim ciljem očuvanja bezbednosti i redovitosti železničkog saobraćaja.

U daljem razvoju beskontaktnog merenja relativne geometrije koloseka moguće je razmatrati poređenja rezultata dobijenih ovom metodom sa



rezultatima dobijenim metodom merenja apsolutne geometrije koloseka, kao i konstruisanje novih i unapređenje postojećih mernih sistema kojima je moguće dobijati rezultate merenjem aposlutne i relativne geometrije koloseka istovremeno, čime bi se značajno smanjili troškovi mernih vožnji i korišćenja mernih sistema, kao i povećala frekvencija realizacije mernih vožnji.

### LITERATURA

- [1] Kite, D., Siino, G., & Audley, M. (2020). Detecting embankment instability using measurable track geometry data. *Infrastructures*, 5(3), 29. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/2412-3811/5/3/29> (pristup: 12.08.2023.)
- [2] Pančić, I., & Mičić, M. (2015). Kvalitet geometrije koloseka. *Izgradnja*, 69(9-10), 369-376. Dostupno na: <https://grafar.grf.bg.ac.rs/bitstream/id/3327/1038.pdf> (pristup: 01.08.2023.)
- [3] Složeno kretanje materijalne tačke. Dostupno na: [http://mfmehanika.weebly.com/uploads/1/4/7/3/14731462/predavanje\\_3.pdf](http://mfmehanika.weebly.com/uploads/1/4/7/3/14731462/predavanje_3.pdf) (pristup: 11.08.2023.)
- [4] Srpski standardi SRPS EN 13231 & 13848. Dostupno na: [https://iss.rs/sr\\_Latn/](https://iss.rs/sr_Latn/) (pristup: 05.08.2023.)
- [5] SRPS EN 13848-5 (2017). Primene na železnici – Kolosek – Kvalitet geometrije koloseka – Deo 5:
- [6] Nivoi kvaliteta geometrije koloseka – Kolosek na otvorenoj pruzi, u skretnicama i ukrštajima
- [7] TRACK GEOMETRY ASSESSMENT SYSTEMS. Dostupno na: <https://tvema.com/638> (pristup: 14.08.2023.)
- [8] Triangulacija. Dostupno na: <http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/mur/04.triangulacija.pdf> (pristup: 24.08.2023.)
- [9] Uzunović, N. Z., & Lemeš, S. (2022). Mjerna tehnika 1 (Vol. 1). Univerzitet u Zenici. Dostupno na: [https://www.academia.edu/72397506/Mjerna\\_tehnika\\_1](https://www.academia.edu/72397506/Mjerna_tehnika_1) (pristup:15.08.2023.)