

Uticaj saobraćajnog opterećenja na promenu ravnosti kolovoza u toku eksploatacionog veka kolovozne konstrukcije³⁵

Marko Bajić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, marko.bajic@putevi-srbije.rs

Zorana Zorić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, zorana.zoric@putevi-srbije.rs

Ivana Andrijanić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

Ivana Kuljanin, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, ivana.kuljanin@putevi-srbije.rs

Rezime: Poduzna ravnost predstavlja jedan od najznačajnijih pokazatelja funkcionalnih svojstava površine kolovoza i kao takva direktno je povezana sa stanjem puta, komforom vožnje, bezbednošću saobraćaja i planiranjem održavanja puteva. Indeks podužne ravnosti kolovoza – IRI (International Roughness Index) – kao međunarodno priznat pokazatelj, široko se koristi za ocenu stanja kolovozne površine i praćenje njenih promena tokom eksploatacije. Jedan od ključnih faktora koji utiču na propadanje kolovozne konstrukcije jeste saobraćajno opterećenje, posebno učešće teretnih vozila u saobraćaju. U radu će biti analizirana promena stanja kolovozne površine u okolnostima pojačanog saobraćajnog opterećenja, korišćenjem podataka o podužnoj ravnosti kolovoza i podataka sa automatskih brojača saobraćaja na odabranim deonicama mreže državnih puteva Republike Srbije. Analiza će obuhvatiti upoređivanje višegodišnjih podataka IRI sa podacima o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju (PGDS), sa ciljem identifikacije korelacije između saobraćajnog opterećenja i promene ravnosti površine kolovoza. Očekivani rezultati istraživanja mogu doprineti boljem razumevanju uticaja saobraćaja na funkcionalni i eksploatacioni kvalitet kolovoza i ukazati na značaj integracije različitih baza podataka u procesu upravljanja putnom infrastrukturom.

Ključne reči: poduzna ravnost, IRI, stanje kolovoza, saobraćajno opterećenje, automatsko brojanje saobraćaja, PGDS, upravljanje putnom infrastrukturom.

1 UVOD

Praćenje stanja kolovoza predstavlja jednu od ključnih aktivnosti u oblasti održavanja puteva i upravljanja državnim putnom infrastrukturom. Prikupljanje podataka o stanju kolovozne površine kroz periodična merenja i vrednovanje funkcionalnih pokazatelja predstavlja osnovu za donošenje odgovarajućih upravljačkih odluka.

Među najznačajnijim pokazateljima funkcionalnog stanja kolovozne površine izdvaja se međunarodni indeks ravnosti - IRI. Bročana vrednost ovog pokazatelja pruža informaciju o ravnosti uzdužnog profila puta, pri čemu njeno povećanje ukazuje na pogoršanje ravnosti kolovza.

Promena ravnosti tokom perioda eksploatacije zavisi od većeg broja međusobno povezanih faktora, među kojima su početni kvaliteta izvedenih radova, starosti i tip kolovozne konstrukcije, klimatski uslovi, sprovedene mere održavanja, kao i intenzitet i strukture saobraćaja.

³⁵ CC BY-NC-ND licenca

Cilj istraživanja jeste ispitivanje odnosa između saobraćajnog opterećenja, predstavljenog vrednostima prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, i podužne ravnosti kolovoza. Analizom je ispitano da li deonice sa većim intenzitetom saobraćaja imaju više vrednosti IRI-ja i izraženije pogoršanje ravnosti u tokom posmatranog perioda.

2 ISTRAŽIVANJA

2.1 Predmet istraživanja i raspoloživi podaci

Predmet analize je državni put IA reda A3, odnosno deonice u desnom smeru, od petlje Batrovci do petlje Ruma, za koje su raspoloživi podaci o IRI-ju i PGDS-u, kao i o redovnom i vanrednom održavanju za period 2021-2023. godine.

Pri sprovođenju analize potrebno je uzeti u obzir i određena ograničenja istraživanja koja mogu uticati na dobijene rezultate, a odnose se na mali broj ciklusa merenja, različite izvore i načine obrade podataka, kao i neusaglašenu segmentaciju deonica između posmatranih godina. Analizom nisu obuhvaćeni podaci o starosti kolovozne konstrukcije, kvalitetu izvedenih radova. Na predmetnim deonicama nisu vršene vanredne rehabilitacije kolovozne konstrukcije.

2.2 Metodologija

Analiza je sprovedena na osnovu podataka o IRI vrednostima po segmentima merenja i odgovarajućim vrednostima PGDS-a za dve posmatrane godine, u dvogodišnjim vremenskim intervalima. Budući da dužine segmenata na istim deonicama nisu bile jednake u svim ciklusima merenja, prosečna vrednost IRI-ja za svaku deonicu izračunata je kao dužinski ponderisan prosek:

$$IRI_{avg} = \frac{\sum(R_i * L_i)}{\sum L_i} \quad (1)$$

gde je:

- IRI_i - vrednost IRI-ja na i-tom segmentu;
- L_i dužina tog segmenta;
- n – broj segmenata na deonici.

Na ovaj način svaki segment učestvuju u rezultatu srazmerno svojoj dužini, čime je omogućeno poređenje podataka na nivou deonice.

Za svaku deonicu određene su apsolutne i procentualne promene IRI-ja i PGDS-a u periodu 2021–2023. godine. Izračunate su i prosečne, minimalne, maksimalne i medijalne vrednosti posmatranih pokazatelja.

2.3 Rezultati analize

2.3.1 Promena prosečnih vrednosti PGDS-a i IRI-ja

Vrednost PGDS-a, za četiri analizirane deonice, povećana je sa približno 9650 vozila/dan u 2021. na 11850 vozila/dan u 2023. godini.

U periodu 2021–2023. prosečna vrednost IRI_{avg} povećana je sa 1,0935 na 1,1662m/km. Porast IRI_{avg} evidentiran je na sve 4 deonice.

U Tabeli 1 prikazane su vrednosti prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i prosečne vrednosti međunarodnog indeksa ravnosti (IRIavg) za analizirane deonice 3003, 3005, 3007 i 3009, za 2021. i 2023. godinu.

Tabela 1: Rezultati analize podataka

Oznaka Deonice	PGDS 2021 [vozila/dan]	IRIavg 2021 [m/km]	PGDS 2023 [vozila/dan]	IRIavg 2023 [m/km]
3003	6078	1.016	8038	1.113
3005	7482	0.770	9916	0.844
3007	10872	1.194	13188	1.278
3009	14156	1.394	16256	1.430

Na svim analiziranim deonicama u 2023. godini zabeležene su više vrednosti PGDS-a u odnosu na 2021. godinu. PGDS se kretao od 6.078 do 14.156 vozila/dan u 2021. godini, odnosno od 8.038 do 16.256 vozila/dan u 2023. godini. Najmanje vrednosti u obe posmatrane godine zabeležene su na deonici 3003, dok su najveće zabeležene na deonici 3009.

Istovremeno, na svim analiziranim deonicama zabeležen je porast prosečne vrednosti IRI. Vrednosti IRIavg u 2021. godini kretale su se od 0,770 m/km na deonici 3005 do 1,394 m/km na deonici 3009, dok su se u 2023. godini kretale od 0,844 m/km do 1,430 m/km na istim deonicama. Rezultati, dakle, pokazuju da je između dva posmatrana ciklusa merenja na svim analiziranim deonicama došlo istovremeno do povećanja saobraćajnog opterećenja i povećanja prosečne vrednosti IRI.

2.3.2 Odnos promene PGDS-a i promene prosečnih vrednosti IRI-ja

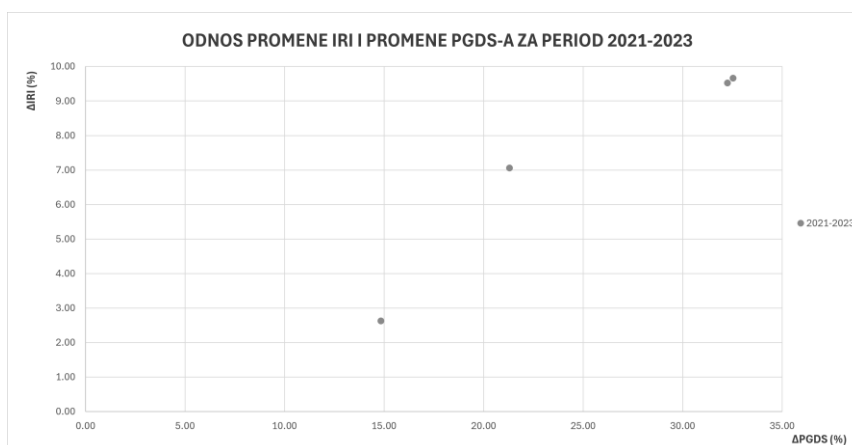
U Tabeli 2 prikazane su relativne promene vrednosti PGDS-a i prosečne vrednosti IRI u periodu od 2021. do 2023. godine. Na svim analiziranim deonicama zabeležen je porast obe posmatrane veličine, pri čemu se uočava da je veći relativni porast saobraćajnog opterećenja praćen većim relativnim porastom prosečne vrednosti IRI.

Tabela 2: Rezultati analize podataka

Oznaka Deonice	Δ PGDS 2021-2023 [vozila/dan]	Δ IRIavg 2021-2023 [m/km]
3003	32.25	9.53
3005	32.25	9.67
3007	21.30	7.06
3009	14.83	2.63

Najveći porast PGDS-a zabeležen je na deonicama 3003 i 3005 i iznosio je 32,25%, dok je na ovim deonicama IRIavg povećan za 9,53%, odnosno 9,67%. Na deonici 3007 PGDS je povećan za 21,30%, uz porast IRIavg od 7,06%. Najmanje promene zabeležene su na deonici 3009, gde je PGDS povećan za 14,83%, a IRIavg za 2,63%.

Na Grafiku 1 prikazan je odnos promene IRIavg i promene PGDS-a za posmatrani period od 2021. do 2023. godine. Iz priloženog možemo zaključiti da pri porastu vrednosti promene PGDS-a dolazi do nelinearnog povećanja vrednosti promene IRIavg, odnosno da na predmetnim deonicama dolazi do ubrzanog (eksponencijalnog) propadanja stanja površine kolovoza.



Grafik 1: Odnos PGDS-a i prosečne IRI vrednosti za period 2021-2023

3 ZAKLJUČAK

Postavlja se pitanje na koji način je moguće pravovremeno prepoznati deonice kod kojih postoji povećan rizik od ubrzanog pogoršanja stanja i sprečiti nekontrolisano opadanje kvaliteta vozne površine.

Za pouzdanije utvrđivanje međusobnih zavisnosti potrebno je proširiti istraživanje uključivanjem dodatnih faktora koji utiču na propadanje kolovoza, kao i većeg broja ciklusa merenja. Učestalija merenja IRI, uz istovremeno praćenje saobraćajnog opterećenja i evidenciju izvedenih radova na održavanju, omogućila bi preciznije praćenje dinamike promena tokom vremena.

Pravovremenim uočavanjem i analizom pokazatelja koji ukazuju na pojavu ili razvoj oštećenja moguće je blagovremeno reagovati na probleme koji nastaju tokom eksploatacije, čime se omogućava planiranje odgovarajućih mera održavanja pre nego što oštećenja dostignu nivo koji zahteva složenije i finansijski zahtevnije intervencije. Na taj način, unapređeni pristup ne doprinosi samo efikasnijem reagovanju na već nastale probleme, već i prelasku sa pretežno reaktivnog na proaktivno upravljanje stanjem kolovozne konstrukcije.

Istovremeno, pravovremene informacije o stanju i očekivanom razvoju oštećenja predstavljaju značajnu podršku pri određivanju prioriteta za intervencije, racionalnijem usmeravanju raspoloživih sredstava i produženju funkcionalnog i eksploatacionog veka kolovozne konstrukcije.

Rezultati podržavaju korišćenje PGDS-a kao jednog od pokazatelja rizika u upravljanju kolovozima, ali ne i kao jedinog kriterijuma za procenu njihovog budućeg stanja. Pouzdanija analiza zahteva uključivanje podataka o udelu i kategorijama teških vozila, osovinskom opterećenju, karakteristikama kolovozne konstrukcije, istoriji radova i lokalnim uslovima. Dalja istraživanja trebalo bi sprovesti na većem broju deonica, kroz duži vremenski period i po homogenim grupama kolovoznih konstrukcija.

LITERATURA

- [1] „Putevi Srbije“ d.o.o. Baza podataka o putevima – podaci o međunarodnom indeksu ravnosti na deonicama državnog puta IA reda A3 za 2019, 2021. i 2023. godinu. Interni podaci, Beograd.
- [2] „Putevi Srbije“ d.o.o. Podaci o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju na deonicama državnog puta IA reda A3 za 2019, 2021. i 2023. godinu. Interni podaci, Beograd.

SUMMARY

Impact of Traffic Loading on Pavement Roughness Changes During the Service Life of Pavement Structures

Abstract: Longitudinal road roughness is one of the most significant indicators of pavement surface functional performance and, as such, is directly related to road condition, ride comfort, traffic safety, and road maintenance planning. The International Roughness Index (IRI), as an internationally recognized indicator, is widely used for pavement surface condition assessment and for monitoring changes in pavement condition during its service life. One of the key factors contributing to pavement deterioration is traffic loading, particularly the proportion of heavy vehicles in the traffic flow. This paper analyzes changes in pavement surface condition under increased traffic loading using longitudinal roughness data and traffic data obtained from automatic traffic counters on selected sections of the state road network of the Republic of Serbia. The analysis includes a comparison of multi-year IRI data with Annual Average Daily Traffic (AADT) data, with the aim of identifying the correlation between traffic loading and changes in pavement roughness. The expected results of the research may contribute to a better understanding of the impact of traffic on the functional and service performance of pavements and highlight the importance of integrating different databases in the road infrastructure management process.

Key words: longitudinal roughness, pavement condition, traffic loading, automatic traffic counting, AADT.