

NEDESTRUKTIVNE METODE ISPITIVANJA KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA SA PRAKTIČNIM PRIMERIMA U SRBIJI**NON-DESTRUCTIVE METHODS OF TESTING PAVEMENT STRUCTURES WITH CASE STUDIES IN SERBIA**

Slaviša Mičić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad se sastoji iz dva dela, teorijskog i praktičnog. U teorijskom delu su obrađene nedestruktivne metode ispitivanja koje se koriste u svetu. U praktičnom delu navedeni su primeri metoda koji su se koristili u Srbiji. Za svaki pojedinačni primer ustanovljeno je da li je novoizgrađena ispitna deonica zadovoljila Tehničke specifikacije.

Ključne reči: Put, Saobraćajnica, Ravnost, Hrapavost i Defleksije

Abstract – The paper consists of two parts, theoretical and practical. The theoretical part deals with non-destructive testing methods used in the world. In the practical part, examples of methods used in Serbia are listed. For each individual example, it was established whether the newly built test section met the Technical Specifications.

Keywords: Road, Traffic, Evenness, Roughness and Deflections.

1. UVOD

Vozna površina kolovoza mora biti projektovana i izgrađena tako da osigura sigurnost i udobnost za korisnike saobraćaja u projektnom razdoblju eksploatacije. Kvalitetnim izvođenjem svih slojeva kolovozne konstrukcije (gornjeg i donjeg stroja) povećava se procenat sigurnosti odvijanja saobraćaja i utiče na dugotrajnost vozne površine, ali i vozila.

Za kretanje vozila po voznoj površini najvažnija su površinska svojstva asfaltbetonskih kolovoza. Sastav i kvalitet asfalta u velikoj meri povećava sigurnost putnog saobraćaja.

Stanje vozne površine može se odrediti preko površinskih svojstava kolovoza (hrapavost, ravnost, bučnost površine, tekstura i oštećenja kolovoza). Informacije o eventualnim nepravilnostima navedenih svojstava mogu se odrediti ispitivanjem na izvedenom habajućem sloju.

Ispitivanja mogu da bude destruktivna (uzimanje uzoraka iz vezanih slojeva kolovozne konstrukcije pomoću dijamantske jezgrovne bušilice i otvaranje sondažnih jama) i nedestruktivna (ravnost, hrapavost i defleksije).

U okviru datog rada prikazane su nedestruktivne metode za ispitivanje kolovoznih konstrukcija.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Milan Marinković.

2. NEDESTRUKTIVNE METODE ISPITIVANJA KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

Oštećenje površine kolovoza zajedno sa ravnosti i hrapavosti direktno utiče na učesnike u saobraćaju, dok putem defleksija stručnjaci mogu da saznaju uzrok nastalog oštećenja kao i sami razvoj oštećenja i da preduzmu određene mere kako bi spasili dalji životni vek kolovozne konstrukcije [1].

2.1 Primeri ocene stanja kolovoza

Praksa u SAD je pokazala da ocena stanja kolovoza na primarnoj putnoj mreži u većini zemalja zasnovana na međunarodnom indeksu ravnosti IRI i metoda za mjerenje otpornosti površine na proklizavanje/klizanje - ispitivanje klatnom (SRT klatno) [2]. Pored kvaliteta habajućeg sloja novoizgrađene saobraćajnice, osnovne nabrojane metode mogu da pokažu stanje već izgrađene saobraćajnice, tj. da li saobraćajnica na kojoj se odvija saobraćaj u kritičnom stanju. Na osnovu podataka koje se dobiju, građevinski inženjer za puteve donosi zaključak da li je potrebno izvršiti rehabilitaciju na saobraćajnici na kojoj se odvija saobraćaj. Ocena nivoa usluge puta, dobijena od strane korisnika mnogo zavisi od kvaliteta kolovozne konstrukcije, npr. njene površine. Ovo stanje može da se prenese na stanje funkcionalnih karakteristika kolovoza (ravnost, otpor klizanju itd.), odnosno stanje habajućeg sloja [1].

2.2 Osnovni pokazatelji sigurnosti saobraćaja

U putnom saobraćaju postoje faktori koji utiču na sigurnost korisnika u saobraćaju, a međusobna povezanost faktora dovodi do konfliktnih situacija i povećanja mogućnosti nastanka saobraćajnih nesreća. Faktori koji utiču na sigurnost putnog saobraćaja su čovek (Č), vozilo (V), put (P) i okolina (O) [3]. Međusobne korelacije faktora koje se sastoje od odnosa čovek- put, čovek-vozilo i odnosa put-vozilo imaju velik uticaj na postizanje saobraćajnog sastava u kojem će broj nezgoda biti sveden na najmanji mogući broj. Na sigurnost saobraćaja utiče i okolina, zbog toga se i okolina uzima kao faktor sigurnosti putnog saobraćaja [3].

2.3 Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megatekstur „IRI“

Merenje poprečne i podužne ravnosti površine definisano je kao odstupanja površine kolovoza u odnosu na projektovani nagib površine. Ova odstupanja utiču na kvalitet vožnje, dinamiku vozila i učinak dinamičkih opterećenja na kolovozu. Razlika između teoretskih visina

površine i stvarne visine površine u podužnom profilu može se pojaviti kao rezultat procesa izgradnje, korištenja puta ili u nekim slučajevima kombinacije oba slučaja.

Međunarodni indeks ravnosti (IRI) je standardna skala za procenu ravnosti puta u mnogim zemljama u svetu. Ravnost kolovoza (ponekad se naziva i hrapavost) se obično procenjuje korišćenjem profila kolovoza (mera sitnih promena nadmorske visine na površini kolovoza).

Postoje razne metode za merenje podužnih i poprečnih profila, kao što su: simulator četvrtine automobila, simulator polovine automobila i simulator celog automobila, merenje ravnosti laserskim profilometrom dužine 3 m, IRI kolica, laserski profilometri montirani na vozilo i laserski profilometri na guranje, ispitivanje ravnjačom dužine 3m.

Trenutno je IRI uobičajen međunarodni indeks procene ravnosti, koji ima prednosti objektivnog merenja ravnosti kolovoza i neometanost ljudskih faktora [4].

2.4 Uticaj kvaliteta asfaltnih slojeva na sigurnost saobraćaja

Sastav i kvalitet asfalta imaju veliku ulogu u povećanju stepena sigurnosti saobraćaja. Veliki broj saobraćajnih nesreća nastaje zbog smanjenog koeficijenta trenja između pneumatika i kolovoza te zbog oštećenja gornje površine kolovoza.

Kod oštećenja kolovoza većih od 15 % potrebno je čitav kolovoz obnoviti, a kod oštećenja do 15 % treba ga popraviti [3]. Na sigurnost putnog saobraćaja u velikoj meri utiču faktori kao što su pojava kolotruga, hrapavost površine, defleksije, oštećenja, ravnost kolovoza, tekstura vozne površine i sl.

2.5 Metoda za merenje otpornosti površine na proklizavanje/klizanje - Ispitivanje SRT klatnom

Jedna od uobičajenih metoda utvrđivanja otpora klizanju jeste i korištenje uređaja pomoću klatna. SRT je statički uređaj za detekciju površinskih svojstava kolovoza. Uređaj deluje na principu klatna, gdje merna ruka koja se otpušta sa okvira uređaja na slobodnom kraju ima gumenu klizač koji struganjem po površini kolovoza pokazuje vrednost. SRT vrednosti prikazane su na mernoj skali uređaja i kreću se od 0 do 150, gdje manja SRT vrijednost označava i manju vrednost otpora klizanju, odnosno manji ostvareni koeficijent trenja.

Prema kriterijima za ocenu trenja, rezultat vrednosti iznad 65 predstavlja vrlo dobru ocenu trenja u svim uslovima, dok vrednost na skali koja nakon očitavanja ne iznosi 45 predstavlja klizav kolovoz i potencijalnu opasnost za učesnike u saobraćaju. Ocena otpora klizanja se meri prema standardu SRPS U.C4.018 [5].

Uređaj se koristi za laboratorijska i terenska ispitivanja. Osim klatna, koristi se i pesak za određivanje dubine teksture na datoj tački puta.

Kombinacija merenja SRT vrednosti i dubine teksture omogućuje tačniju procenu ponašanja kočnog vozila.

Postoje i ostale metode ispitivanja kao što su: „SARSYS Volvo friction tester“ - SVFT, „RoadSTAR“ metod, „H2000 Automatic Crack Detection“ - ACD Sistem.

2.6 Ugibi / defleksije kolovozne konstrukcije

Merenje ugiba / defleksija se vrši jednom od dve osnovne tehnike: statičkom i dinamičkom (udarnom) tehnikom. Zbog svoje jednostavnosti, Benkelmanova greda (Slika 1.) je u prošlosti bila najrasprostranjenija metoda merenja ugiba [6].

Benkelmanova greda - predstavlja mehanički merni uređaj koji prenosi vertikalne pokrete (ugib) površine kolovozne konstrukcije na merni sat. Međutim, dinamički (udarni) ugibomeri imaju niz prednosti kao što su: veća osetljivost i tačnost, simultano merenje ugiba u više tačaka i brže izvođenje merenja.



SLIKA 1 - BENKELMANOVA GREDA [6]
Trenutno u svetu najzastupljeniji ugibomer sa padajućim teretom je "FWD - Falling Weight Deflectometer".

3. PRIMENA NEDESTRUKTIVNIH METODA ISPITIVANJA KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

Upotreba nedestruktivnih metoda ispitivanja na primerima: 1) Rekonstrukcija kolovoza "Banstol - Čortanovci", 2) rekonstrukcija ulice u naseljenom mestu Kukujevci i 3) rehabilitacija deonice puta "Ruma - Pećinci".

3.1 Rehabilitacija kolovoza „Banstol - Čortanovci“

Ispitivanja su izvršena na završnom novoizvedenom habajućem sloju od asfaltbetona na saobraćajnici Banstol-Čortanovci (km 0+000 - km 5+100).

3.1.1 Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megateksturu (IRI)

Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megateksturu su izvršena sa IRI kolicima (slika 2.). Ukupno je izmereno oko 10400 metara puta. Merenje je obavljeno i levoj i u desnoj traci. Merenje je izvršeno pomoću kolica „STPZ-3 Continuous Eight-wheel Viameter“ (slika 2) [2 3m]. Dobijene vrednosti su analizirani i preračunate u IRI. Dobijene vrednosti su prikazane u tabeli 1. i 2.



SLIKA 2 IZGLED MERNIH KOLICA [7]

TABELA 1 - DOBIJENE VREDNOSTI IRI ZA DESNU SAOBRAĆAJNU TRAKU

Desna saobraćajna traka		
Srednja vrednost IRI (m/km)	Standardna devijacija (m/km)	85% vrednost IRI (m/km)
0,9748	0,2795	1,18

TABELA 2 - DOBIJENE VREDNOSTI IRI ZA LEVU SAOBRAĆAJNU TRAKU

Leva saobraćajna traka		
Srednja vrednost IRI (m/km)	Standardna devijacija (m/km)	85% vrednost IRI (m/km)
0,9735	0,2874	1,29

3.1.2 Metode merenja i tehnički zahtevi za ispitivanje otpora klizanju

Metode merenja i tehnički zahtevi za ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija izvršena su SRT klatnom (slika 3.) [8]. Na mernoj deonici je urađeno je ukupno 26 opita na svakih 400m. Izmerena vrednost otpora klizanju habajućeg sloja (SRT vrednost) korigovana je vrednošću korekcionog koeficijenta usled dejstva temperature. Dobijeni rezultati se kreću u granicama od 54,6 do 63,3. Prema kriterijima za ocenu trenja, rezultati dobijenih vrednosti predstavljaju vrlo dobru ocenu trenja u svim uslovima.



SLIKA 3 – SRT MERNI UREĐAJ [8]

3.1.3 Merenje defleksija kolovoza

Merenja su izvršena sa Benkelmanovom grede. Defleksije su merene i u levoj i u desnoj traci na svakih 50m. Ukupno je izmereno 200 defleksija. Dobijene vrednosti su korigovane u odnosu na temperaturu kolovoza. Kako su defleksije merene na istim stacionažama u obe trake analizirane su sve vrednosti zajedno kako bi se utvrdili statistički parametri. U analizi su na istoj stacionaži posmatrane veće vrednosti. Statistički parametri za obe trake su prikazani u tabeli 3.

TABELA 3 - - STATISTIČKI PARAMETRI ZA OBE TRAKE

	Poč. stac km	Kraj.s tac km	Dsr (μm)	σ (μm)	CV (%)	Dc (μm)
Obe trake	0+0 50	5+000	20,58	3,62	17,57	27,81

Koeficijent varijacija na homogenom potezu mora biti manji od 0,35 (35%) što je slučaj za čitav put pri analizi obe trake zajedno po stacionažama. Čitav put je jedna homogena deonica. Gde je:

Dsr (μm) – srednja vrednost defleksije na homogenom potezu;

σ (μm) – standardna devijacija defleksija na homogenom potezu;

CV (%) - koeficijent varijacije;

Dc (μm) – Karakteristična defleksija na homogenom potezu za izabrani nivo pouzdanosti podataka.

3.2 Rehabilitacija ulice u naseljenom mestu Kukujevci - Opština Šid - ulica Vuka Karadžića

Ispitivanja mernim kolicima IRI, merenje otpora klizanju i defleksije habajućeg sloja kolovozne konstrukcije su izvršena na završnom novoizvedenom habajućem sloju od asfaltbetona na saobraćajnici u naseljenom mestu Kukujevci, opština Šid, ulica Vuka Karadžića.

3.2.1 Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megateksturu (IRI)

Ispitivanja mernim kolicima izmereno je oko 1300 metara puta. Merenje je obavljeno samo u desnoj traci, posmatrano u smeru rasta stacionaža od ulice „Srpskih vladara“ (jer je širina saobraćajnice manja od 5m). Dobijene vrednosti su analizirani i preračunate u IRI (m/km). Srednja vrednost IRI u desnoj traci iznosi:

- $IRI_{sr} = 0,5006$ m/km

Standardna devijacija u desnoj traci iznosi:

- $\sigma = 0,2411$ m/km

85% vrednost IRI u desnoj traci iznosi:

- $IRI_{85\%} = 0,7541$ m/km

Prema orijentacionim vrednostima ustanovljeno je da novoizgrađena deonica puta zadovoljava kriterijume.

3.2.2 Metode merenja i tehnički zahtevi za ispitivanje otpora klizanju

Merenje otpornosti na klizanje sloja je izvršeno je sa SRT klatnom na deonici puta u desnoj i levoj saobraćajnoj traci, posmatrajući prema rastu stacionaža od ulice “Srpskih vladara”. Na mernoj deonici je urađeno je ukupno 3 opita, na svakih 400 m. Tačna stacionaža je data u tabeli 4.

TABELA 4 - SRT VREDOSTNI UL. “VUKA KARADŽIĆA”

Stacionaža	SRT vrednost
0+100,0	73,1 desno
0+500,0	73,6 levo
0+900,0	73,7 desno

Prema kriterijima za ocenu trenja, rezultati dobijenih vrednosti predstavljaju odličnu ocenu trenja u svim uslovima.

3.2.3 Merenje defleksija kolovoza

Merenja su izvršena sa Benkelmanovom gredom. Dužina puta na kojem su merene defleksije je oko 1000 m. Defleksije su merene i u levoj i u desnoj traci. Merenje defleksija je izvršeno na svakih 50 metara. Ukupno je izmerno 20 defleksije u obe trake. Dobijene vrednosti su korigovane u odnosu na temperaturu kolovoza (temperatura kolovoza u trenutku ispitivanja je bila 17

°C). Kako su defleksije merene na različitim stacionažama analizirane su sve vrednosti kako bi se utvrdili statistički parametri. Postoje tri homogene deonice: deo 1 (0+050 - 0+550 m) sa koeficijentom varijacije od 12,9 %, deo 2 (0+600 - 0+800 m) sa koeficijentom varijacije od 7,4 % i deo 3 (800 - 1000 m).

Koeficijent varijacija na homogenom potezu mora biti manji od 0,35 (35%), tako da postoje 3 homogene deonice za datu saobraćajnicu. Karakteristična defleksija je izračunata za nivo puzdanosti od 90%.

3.3 Rehabilitacija denice puta „Ruma – Pećinci“

Merenje podužne ravnosti, otpor klizanju i merenje defleksija izvršeno je na završnom novoizvedenom habajućem sloju, na desnom kolovozu auto-puta A3, deonica Ruma - Pećinci. Stacionaža mernih mesta je od km 61+150,00 do km 63+450,00 desni kolovoz.

3.3.1 Merenje poprečnih i podužnih profila u opsezima talasnih dužina za ravnost i megateksturu (IRI)

Merenje je vršeno pomoću IRI kolica na desnom kolovozu i to u voznoj i preticajnoj traci. Dobijene vrednosti su analizirane i preračunate u IRI (m/km). Vrednost IRI za voznu traku je:

- $IRI_{sr} = 0,6516$ m/km. Vrednost IRI za preticajnu traku:

- $IRI_{sr} = 0,5510$ m/km. Zahtevana vrednost IRI za auto-puteve je < 2.

3.3.2 Metode merenja i tehnički zahtevi za ispitivanje otpora klizanju

Merenja su vršena sa SRT klatnom. Na mernoj deonici je urađeno je ukupno 18 opita (po 9 u svakoj traci). Ispitivanja su merenja su izvršena u relativno povoljnim vremenskim uslovima. Temperatura zastora u trenutku merenja je iznosila od 33,8°C do 39,8°C . Izmerena vrednost otpora klizanju habajućeg sloja (SRT vrednost) korigovana je vrednošću korekturnog koeficijenta usled dejstva temperature. U voznoj traci ispitivanja su rađena na zamišljenom tragu desnog točka, a u preticajnoj traci na zamišljenom tragu levog točka. Izmerene SRT vrednosti za voznu traku su u vrednostima od 60 do 66, dok su SRT vrednosti za preticajnu traku u vrednostima od 56 do 61.

3.3.3 Merenje defleksija kolovoza

Defleksije kolovoza merene su na voznoj i preticajnoj traci. Defleksije kolovoza merene su deflektometrom sa padajućim teretom „FWD DYNATEST (FWD 8002-219)“. Merenje defleksija na voznoj traci izmereno je na temperaturi vazduha od 19,8 do 23,0°C, a temperatura asfalta u vreme merenja iznosila je od 27,8 do 29,3°C. Merenje defleksija na preticajnoj traci urađeno je na temperaturi vazduha od 23,2 do 26,0°C, a temperatura asfalta u vreme merenja iznosila je od 29,4 do 31,6°C.

4. ZAKLJUČAK

Površina kolovozne konstrukcije mora da bude dovoljno ravna, da pruža otpor klizanju i da ima održenu nosivost što se određuje merenjem defleksija. Sigurnost saobraćaja se povećava kvalitetnim izvođenjem svih slojeva kolovozne konstrukcije (gorenjeg i donjeg stroja). Stanje vozne površine može se odrediti preko površinskih svojstava kolovoza (hrapavost, ravnost, bučnost površine, tekstura i oštećenja kolovoza). Informacije o eventualnim nepravilnostima navedenih svojstava mogu se odrediti ispitivanjem na izvedenom habajućem sloju. Ispitivanja mogu da bude destruktivna i nedestruktivna.

U okviru datog rada prikazane su nedestruktivne metode za ispitivanje kolovoznih konstrukcija. Ravnost kolovoza je pokazatelj odstupanja vozne površine od „idealne“ projektom predviđene površine. Hrapavost u velikoj meri utiče na sigurnost kretanja vozila po saobraćajnoj površini. Putni površinski sloj mora pružati dovoljnu vrednost trenja između kolovoza i pneumatika kako bi se sprečilo klizanje, zanošenje vozila i proklizavanje vozila. Nosivost same kolovozne konstrukcije određuje se pomoću defleksija (ugiba) kolovoza.

Podaci dobijeni pomoću nedestruktivnih metoda daju potpun i realan uvid u pokazatelje stanja puteva u bilo koje vreme, i to na čitavoj deonici puta ili u odabranim deonicama. Podaci daju detaljan uvid u trenutno stanje kolovoza, kao i izvedene radove novoizgrađenih kolovoza.

5. LITERATURA

- [1] **Jokanović, I. / Zeljić, D./ Mihajlović, D.** *Ocena stanja kolovoza sa tehničkog i korisničkog aspekta.*
- [2] **Uzelac, Đ.** „*Kolovozne konstrukcije*“. FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2015.
- [3] **Luburć, G.** *Sigurnost cestovnog i gradskog prometa, 2010.*
- [4] *Improving Pavements With Long-Term Pavement Performance: Products for Today and Tomorrow. Papers From the 2003–2004 International Contest on Long-Term Pavement Performance Data Analysis. Sponsored by the Federal Highway Administration and the American Society of Civil Engineers.*
- [5] SRPS EN 13036-4 SRT. *Ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija.*
- [6] **Impact-test.** [na mreži] <https://www.impact-test.co.uk/products/4547-benkelman-beam/>.
- [7] **Shtg17.** [na mreži] <https://www.shtg17.com/>.
- [8] **SANDBERG.** [na mreži] <https://www.sandberg.co.uk/site/specialist-testing/slip-resistance/>.