

Kriteriji uzdužne ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika

Miroslav Šimun, Tatjana Rukavina

Ključne riječi

vozna površina, ravnost, asfaltni kolnik, hrvatska cestovna mreža, granični kriterij, pokazatelj IRI

Key words

driving surface, evenness, asphalt pavement, Croatian road network, limit criterion, IRI indicator

Mots clés

surface de roulement, uni, chaussée en enrobé, réseau routier croate, critère limite, indicateur d'IRI

Ключевые слова

проезжая часть, ровность, проезжая часть с асфальтовой мостовой, сеть дорог Хорватии, граничный критерий, показатель IRI

Schlüsselworte

Fahrfläche, Ebenheit, Asphaltfahrbahn, kroatisches Strassennetz, Grenzkriterium, Kennwert IRI

M. Šimun, T. Rukavina

Izvorni znanstveni rad

Kriteriji uzdužne ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika

U cilju sagledavanja utjecaja opsega građevinskog zahvata i klase javnih cesta, u radu su opisani čimbenici koji utječu na postizanje ravnosti asfaltnih vozni površina. Statistički su analizirane vrijednosti indeksa ravnosti IRI100, izmjerene na, u posljednje četiri godine, izvedenim kolnicima hrvatske cestovne mreže. Utvrđeni su granični kriteriji ravnosti vozne površine za tri glavne klase cesta (autoceste; državne ceste; gradske ceste) te sedam kategorija asfaltnih kolnika.

M. Šimun, T. Rukavina

Original scientific paper

Criteria for longitudinal evenness of asphalt-pavement driving surfaces

In order to define the influence of the scope of construction work and public road categories, the authors define factors that are significant for achieving evenness of asphalt-pavement driving surfaces. The values of international roughness index IRI100, measured on pavements built over the past four years on the Croatian road network, are analyzed statistically. Limit criteria for road pavement surfaces are defined for three principal road categories (motorways, national roads, and municipal roads) and seven asphalt pavement categories.

M. Šimun, T. Rukavina

Ouvrage scientifique original

Critères pour l'uni longitudinal de la surface de roulement des chaussées en enrobé

Afin de définir l'influence de l'étendue des travaux de construction et des catégories des routes publiques, les auteurs définissent les facteurs qui sont importants pour obtenir l'uni des surfaces de roulement des chaussées en enrobé. Les valeurs de l'indice de rugosité internationale IRI100, mesurées sur les chaussées construites au cours des quatre derniers ans sur le réseau routier croate, ont été analysées statistiquement. Les critères limites pour les surfaces de roulement des chaussées ont été définis pour trois catégories principales des routes (autoroutes, routes nationales et routes municipales) et pour sept catégories des chaussées en enrobé.

M. Шимун, Т. Рукавина

Оригинальная научная работа

Критерий продольной ровности проезжей части дорог с асфальтовой мостовой

В целях рассмотрения влияния объема строительных работ и класса общественных дорог в работе описываются факторы, оказывающие влияние на достижение ровности проезжей части дорог с асфальтовой мостовой. Проведен статистический анализ значений индекса ровности IRI100, измеренных на проезжих частях дорог, построенных в течение последних четырех лет в сети дорог Хорватии. Установлены граничные критерии ровности по трем основным классам дорог (автострады, государственные дороги, городские дороги) и по семи категориям проезжих частей дорог с асфальтовой мостовой.

M. Šimun, T. Rukavina

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

Kriterien der Längsbeinheit der Fahrfläche von Asphaltfahrbahnen

Im Ziel den Einfluss des Umfangs der Baueingriffe und der Klasse der öffentlichen Strassen zu erkennen sind im Artikel die Faktoren beschrieben welche das Erreichen der Ebenheit der Asphaltfahrbahnen beeinflussen. Statistisch analysierte man die Werte des Ebenheitskennwerts IRI100, gemessen an den in den letzten vier Jahren erbauten Fahrbahnen des kroatischen Strassennetzes. Festgelegt sind die Grenzkriterien der Ebenheit der Fahrfläche für drei Hauptklassen von Strassen (Autobahnen, Reichsstrassen, Stadtstrassen), sowie für sieben Kategorien von Asphaltfahrbahnen.

Autori: Mr. sc. **Miroslav Šimun**, dipl. ing. građ., Institut IGH d.d., Zavod za nadzor u graditeljstvu, Zagreb; prof. dr. sc. **Tatjana Rukavina**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb

1 Uvod

Vozna se površina definira kao završna ploha asfaltnog kolnika namijenjena prometovanju cestovnih vozila. Tijekom vožnje elementi vozila (kotač; ovjes i kabina) prenose stanje profila vozne površine na putnike. Ravnost je pokazatelj odstupanja izvedene vozne površine od „idealne“ projektom predviđene plohe, definirane uzdužnim i poprečnim nagibima te vertikalnim i horizontalnim zaobljenjima nivelete kolnika. Uzdužna odstupanja profila kolnika uzrokuju vertikalne oscilacije vozila koje se direktno odražavaju na udobnost vožnje, stoga je utvrđivanje ravnosti vozne površine vrlo važan parametar za ocjenu i praćenje stanja služnosti kolnika javne ceste.

Razina ravnosti vozne površine utječe na putnika sa stajališta njegova „komforta“, ali i na trajnost vozila i trajnost asfaltne kolničke konstrukcije. Stoga korisnici, bilo putnik, bilo vlasnik vozila, a i investitor (društvo za upravljanje, građenje i održavanje) cestovnih prometnica imaju zajednički zahtjev da izvedena vozna površina bude što bolje ravnosti. Izvođač asfaltnog kolnika treba postići ravnost koja će biti prihvatljiva svim sudionicima u procesu gradnje i uporabe vozne površine ceste.

S obzirom da između profila vozne površine kolnika i interakcije kotača vozila postoji složena zavisnost, za utvrđivanje pokazatelja ravnosti potrebno je ponajprije provesti mjerenja realnog profila (plohe) vozne površine i nakon toga proračunati indeks ravnosti. Sudionici gradnje i korisnici cesta zainteresirani su za uspostavljanje jedinstvenoga, objektivnog pokazatelja stanja ravnosti vozne površine kolnika.

Pri utvrđivanju kriterija ravnosti treba uzeti u obzir objektivne čimbenike koji imaju ograničavajući utjecaj na njezino postizanje. Definiranje kriterija ocjene uzdužne ravnosti izvedenih kolnika cesta treba biti usklađeno s realnim mogućnostima cestogradevne asfaltne tehnologije. Radi definiranja vrijednosti indeksa ravnosti asfaltnih kolnika potrebno je provesti analizu kretanja pokazatelja ravnosti vozni površina na pojedinim kategorijama cestovnih prometnica [1].

2 Postupak utvrđivanja ravnosti

Za dobivanje objektivne slike stanja ravnosti kolnika potrebno je provesti kvalitativno i kvantitativno mjerenje i proračunavanje pokazatelja ravnosti, što zahtijeva uporabu najsvremenijih tehnologija mjerenja profila.

2.1 Mjerni uređaji

Kroz povijest izgradnje cesta, s razvojem tehnologije izvođenja kolničkih konstrukcija paralelno su se razvijali pristupi, načini i uređaji za utvrđivanje razine ravnosti vozni površina.

2.1.1 Jednostavni alati i uređaji

U grupu jednostavnih alata i uređaja ubrajaju se: mjerna letva, kotrljajuća greda i Bump integrator.

Mjerna je letva alat koji se uobičajeno rabi pri ugradnji asfaltnog sloja, radi trenutačne provjere mogućih odstupanja buduće vozne površine. Najčešće se upotrebljava pri izradi radnih spojeva, a princip mjerenja propisan je normom HRN EN 13036-7 [2].

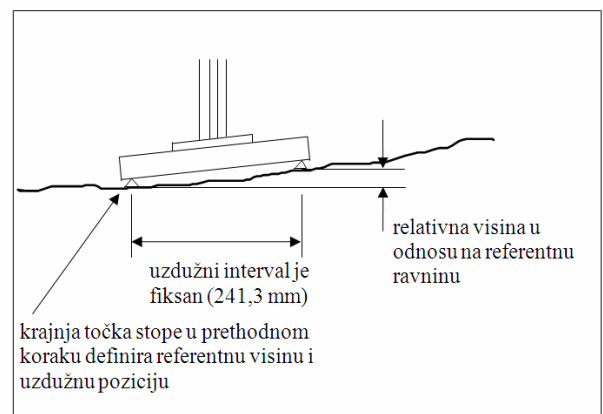
Kotrljajuća greda (HI-LO detektor) duljine 4 metra oslonjena je na svojim krajevima na male kotače. U sredini grede je mjerni kotač koji se u zavisnosti od profila kolnika izdiže i spušta u odnosu na ravninu grede, pri čemu direktno pomiče mjernu skalu. Uređaj nema mogućnost automatskog zapisivanja vrijednosti odstupanja. Za ocjenu ravnosti rabi se iskustvena formula za izračunavanje indeksa ravnosti [3].

Uređaj *Bump integrator* sastoji se od jednoosovinske prikolice s mjernim kotačem i masivnim metalnim okvirom koji predstavlja referentnu ravninu. Mjerenje se obavlja tako da se prikolica s mjernim kotačem vuče vozilom po mjernom profilu kolnika brzinom 30-50 km/h. Uređaj mjeri amplitude neravnina odnosno relativni pomak mjernog kotača u odnosu na okvir. Električni brojač registrira relativni pomak od 2,54 cm (1 inč) kao jednu brojčanu jedinicu. Izlazni rezultati nakon mjerenja dani su u obliku grafičkog zapisa i brojčano. Brojčani rezultat dobiven mjerenjem primjenjuje se za proračun indeksa ravnosti površine ceste (R), koji se dobiva iz odnosa vrijednosti integriranih pomaka kotača i prijednog razmaka, a izražava se u m/km (ili in/mi) [4].

2.1.2. Elektronički uređaji

Od elektroničkih uređaja u okviru ovog rada obrađeni su hodajući i inercijalni profilomjer.

Kod *hodajućeg profilomjera* glavni dio uređaja je metalna stopa duljine 241,3 mm koja se tijekom mjerenja polaže naizmjenično duž linije mjernog profila (slika 1.).



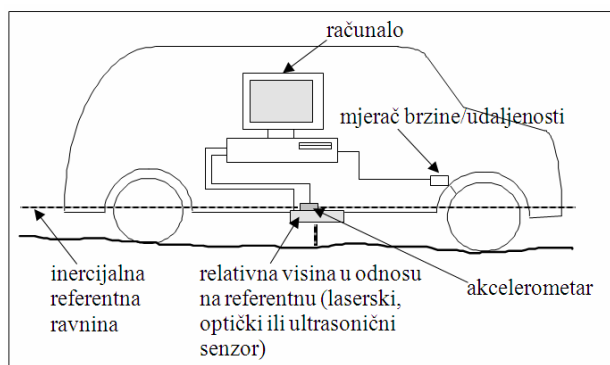
Slika 1. Princip mjerenja hodajućeg profilomjera

Na mjernu je stopu pričvršćen inklinometar koji mjeri nagib odnosno smjerni kut. Za svaki novi korak računalni program proračunava novu referentnu visinu kao referentnu visinu prethodnog koraka uvećanu za relativnu visinu. Relativna se visina izračunava iz nagiba stope (kuta) prema vertikali i poznate duljine mjerne stope. Uređaj snima uzdužni mjerni profil površine kolnika tako što tijekom mjerenja kontinuirano polaže metalnu mjernu stopu i za svaki mjerni korak (241,3 mm) registrira sumiranu visinu prema prvoj početnoj točki.

Elektronički hodajući profilomjer ima mogućnost grafičkog prikaza rezultata mjerenja profila i proračunavanja vrijednosti indeksa ravnosti kolnika (IRI - *International Roughness Index* – međunarodni indeks neravnosti). Tijekom mjerenja profilomjer je oslonjen na mjernu površinu preko dva pomoćna transportna kotačića i dva kotačića koja guranjem operatera pokreću mjernu stopu. Mjerenju ovim uređajem prethodi kalibracija s početne točke mjernog profila u duljini 20 metara i vraćanje na početnu poziciju, a brzina mjerenja je od 500 do 800 m u jednom satu [5].

Uređaj je povezan s prenosivim računalom ili baznom jedinicom koji tijekom mjerenja memoriraju snimljene visinske vrijednosti svake mjerne točke, broj mjernih koraka i duljinu mjerne dionice. Način mjerenja ovim tipom uređaja definiran je australskim tehničkim smjericama AUSTRROADS Pavement Test (PAT01: 2001) [6].

Šezdesetih je godina prošlog stoljeća radi ocjene stanja ravnosti mreže cesta tijekom eksploatacijskog razdoblja, u General Motors Research Laboratories (G.M.R.L.) razvijen *inercijalni profilomjer* kojim je moguće provesti snimanja profila vozne površine pri normalnim brzinama prometovanja (slika 2.).



Slika 2. Skica inercijalnog profilomjera

Na mjerno vozilo (osobni automobil ili terensko vozilo) ugrađen je akcelerometar koji bilježi vertikalno ubrzanje vozila tijekom mjerenja pri operativnim brzinama vožnje. Iz podataka o ubrzanju vozila računalo dvostrukim integriranjem proračunava vertikalne pomake vozila u

odnosu na referentnu ravninu odnosno definira trenutnu visinu akcelerometra smještenog u samom vozilu.

Relativna je visina razmak između referentne ravnine i mjernog profila vozne površine kolničke konstrukcije direktno ispod samog akcelerometra. Učitavanje točaka profila čiji je međurazmak unaprijed definiran obavlja se optičkim ili ultrazvučnim laserom. Podatak o uzdužnoj udaljenosti dobivamo izravno iz daljinomjera koji je pričvršćen na kotač mjernog vozila. Operativne su brzine snimanja profila inercijalnim profilomjerom veće od 30 km/h, a mogu se kretati, ovisno o kategoriji ceste, do brzine od 150 km/h. Ako se rabe senzori uobičajenih frekvencija od 16 kHz, postoji mogućnost da se duljina mjernog razmaka kreće između 25 mm i 25 cm, dok se kod visoko frekventnog lasera (62,5 kHz) interval između dviju očitanih točaka vozne površine može kretati između 0,5 i 2,5 mm, te se primjenjuje za mjerenje teksture kolnika.

Jedan od tipova inercijalnog profilomjera jest uređaj *LaserProf*, koji ima mogućnost mjerenja jednog ili dva profila kolnika. Prednost je ovog tipa uređaja brzo i jednostavno postavljanje na bilo koji tip vozila opremljenog vučnom kukom. Kompletna je oprema teška otprilike 20 kilograma (slika 3.) [7].



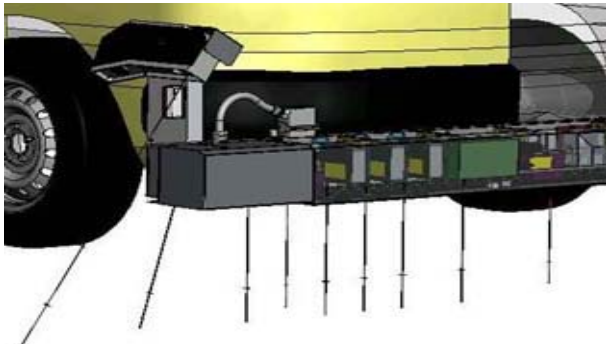
Slika 3. Komplet opreme LaserProf u transportnom kovčegu

Uređaj *LaserProf* se sastoji od sljedećih elemenata:

- *daljinomjera* koji ima mogućnost magnetskog pričvršćenja na kotač vozila
- *nosive letve* koja može biti jednokraka ili dvokraka, ovisno o broju mjernih lasera, a koja se pričvršćuje na vučnu kuku mjernog vozila
- *centralne jedinice* s ulogom memoriranja podataka koje prima s daljinomjera, lasera (jednog ili dva) i akcelerometara
- *prenosivog računala* koje preuzima podatke iz centralne jedinice i računalnim programom automatski proračunava IRI
- *impulsnih kabela* koji povezuju mjerne elemente.

Brzina mjerenja odnosno kretanja mjernog vozila je od 30 do 150 km/h, ovisno o parametrima prometnog toka ceste. Broj mjernih profila (jedan ili dva) ovisi o broju lasera koji su smješteni u liniji traga kotača.

Drugi je tip inercijalnog profilomjera uređaj s mjernom gredom s tri i više mjernih laserskih jedinica. Ovaj uređaj istovremenim mjerenjem više uzdužnih profila ima mogućnost utvrđivanja poprečnog profila (plohe) vozne površine jednog prometnog traka, odnosno paralelno je moguće mjeriti dubinu kolotraga (rutting). Glavni je dio uređaja mjerna greda koja može sadržavati i više desetaka lasera, a montira se na mjerno vozilo (slika 4.).



Slika 4. Mjerna greda s nizom laserskih jedinica

Mjerno vozilo može biti opremljeno GPS-om (*Global Position System*) i videokamerom koja kontinuirano snima voznu površinu kolnika. U području obaju kotača mjernog vozila mjerni su laseri na manjem razmaku radi točnijeg utvrđivanja oblika poprečne deformacije u obliku kolotraga. Uređaj ima mogućnost mijenjanja međurazmaka lasera duž osi mjerne grede.

Svaki mjerni laser mjeri jedan uzdužni profil. Računalni program prema standardiziranom algoritmu proračunava po svakom uzdužnom profilu zaseban indeks ravnosti, iz kojih se proračuna prosječan IRI mjernoga voznog traka. Mjerna površina kolnika mora biti suha zbog točnosti refleksije laserske zrake, a brzine mjerenja istovjetne su operativnim brzinama prometovanja.

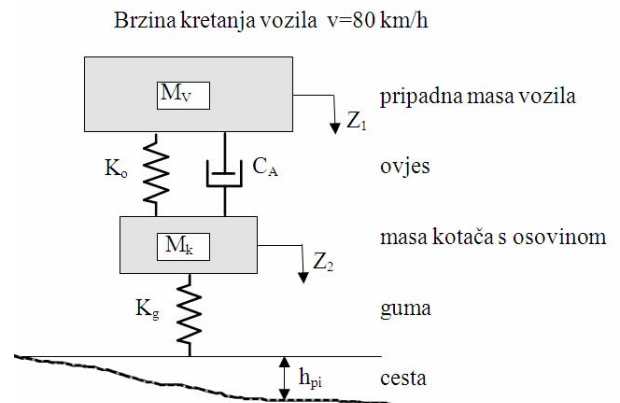
2.2 Proračun međunarodnog indeksa ravnosti

Podatak o izmjerenom uzdužnom profilu je niz brojeva prikupljenih na određenom mjernom intervalu koji prikazuju visinu točaka profila u odnosu na referentnu ravninu.

Kako bi se niz prikupljenih podataka moglo prikazati u odgovarajućem obliku, primjerice grafičkom, upotrebljava se matematička transformacija - filtriranje [8].

Nakon izravnjanja (filtriranja) profila vozne površine provodi se proračun pokazatelja uzdužne ravnosti međunarodnog indeksa IRI. Za proračun IRI-ja upotrebljava se standardizirani matematički model četvrtine putničkog

vozila (*quarter-car model*) prema ASTM E 1926-98(2003) [9]. Model četvrtine standardiziranog vozila uključuje sve važne dinamičke elemente koji određuju na koji način neravnine kolnika utječu na vibracije vozila (slika 5.).



Slika 5. Model četvrtine standardiziranog vozila

gdje je:

h_{pi} - visina izravnjanog (filtriranog) profila

z_1 - pomak (vertikalna koordinata) mase vozila koju nosi jedan kotač (M_v)

z_2 - pomak (vertikalna koordinata) mase kotača s gumom i polovice ovjesa (M_k)

k_g - koeficijent elastičnosti opruge koja predstavlja gumu kotača automobila

M_v - masa vozila koju nosi jedan kotač

M_k - masa kotača s gumom i polovice osovine

k_o - koeficijent elastičnosti opruge ovjesa

c_A - koeficijent viskoznosti amortizera.

IRI je definiran kao varijabla realnog profila vozne površine ceste izmjerene elektroničkim profilomjerom. Princip računalnog algoritma jest virtualna vožnja standardiziranog modela vozila brzinom od 80 km/h po izravnjanom (filtriranom) snimljenom uzdužnom profilu površine kolnika. Računalni program sumira relativne pomake ovjesa standardiziranog modela automobila u odnosu na kabinu vozila, kao odgovor na neravnine zbog simulirane vožnje preko izmjerene (filtrirane) površine.

IRI se proračunava sumiranjem razlika pomaka između mase vozila koju nosi jedan kotač (M_v) i mase kotača s gumom i polovinom ovjesa (M_k) normaliziranih po duljini mjernog profila L u vremenu (dt):

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/v} |\dot{z}_1 - \dot{z}_2| dt$$

pri čemu je:

L - duljina mjernog profila (m')

z_1 - vertikalna brzina pripadne mase vozila

z_2 - vertikalna brzina mase kotača s osovinom.

Zbrojeni, simulirani vertikalni pomaci tipskog ovjesa vozila podijeljeni s duljinom mjernog profila daju vrijednost indeksa ravnosti u (m/km).

Na proračun IRI-ja najviše utječu površinski valovi duljine 2,4 odnosno 15 metara, a to su valovi koji uzrokuju najveću nelagodu putnika tijekom vožnje [10].

Indeks ravnosti jest parametar koji opisuje gibanje, reakciju vozila na neravnine kolnika i kao takav daje objektivnu ocjenu ravnosti vozne površine u smislu udobnosti vožnje. Vrijednost IRI-ja je pokazatelj razine dinamičkih opterećenja (tj. oštećenja kolnika od teških vozila, a i oštećenja samih vozila), utječe na utvrđivanje operativne brzine kretanja i na ocjenu ukupnog stanja kolničke konstrukcije prometnice u svrhu potrebnih ulaganja u održavanje.

3 Utjecajni čimbenici postizanja uzdužne ravnosti

Na postizanje razine ravnosti izvedene vozne površine kolnika utječu sljedeći parametri:

- podloga (donji nosivi slojevi kolnika)
- projektno rješenje kolničke konstrukcije (tip asfaltnih slojeva, prekidi u voznoj površini kolnika, građevine cestovne infrastrukture) i
- uvjeti izvođenja asfaltnog sloja.

3.1 Podloga

Savijljiva kolnička konstrukcija ceste sastoji se od asfaltnih slojeva i nosivih slojeva (cementom stabilizirani sloj (CNS) i/ili od mehanički zbijenog sloja od zrnatog kamenog materijala bez veziva (MNS)). Podloga kolničkoj konstrukciji je posteljica od zemljanoga, miješanoga ili kamenog materijala.

Razina ravnosti podloge asfaltno kolničke konstrukcije izravno utječe na postizanje vrijednosti ravnosti vozne površine pa svakako treba utvrđene nepravilnosti površine podloge i strukturne nedostatke slojeva ispraviti prije izvedbe asfaltnih slojeva. Savijljivi kolnici s cementom stabiliziranim nosivim slojem (CNS) predstavljaju podloge za postizanje bolje ravnosti vozne površine kolnika.

3.2 Projektno rješenje kolničke konstrukcije

Prema tipu asfaltno kolnike dijelimo na jednoslojni (NHS), dvoslojni (NS+HS), troslojni (NS+VS+HS), tankoslojni presvlaklu mikroasfalta (MA) ili površinsku obradu (PO).

Debljina pojedinoga asfaltnog sloja ovisi o broju slojeva u kolničkoj konstrukciji te o vrsti asfaltno mješavine od-

nosno veličini maksimalnog zrna kamenog agregata. Potrebna debljina asfaltno kolničke konstrukcije određuje se u procesu dimenzioniranja, prema normi HRN U.C4.012. Pri definiranju kriterija ravnosti vozne površine asfaltno kolnika treba uzeti u obzir tip asfaltno kolnika jer postoji međuzavisnost postignute razine ravnosti i broja odnosno debljine asfaltnih slojeva.

Prekidi u voznoj površini npr. rešetke odvodnih grla slivnika, poklopci revizijskih okana instalacija ugrađenih u donji ustroj ceste (kanalizacija; plin; struja; voda; telefon i dr.) izravno utječu na vrijednost indeksa ravnosti odnosno udobnost vožnje. Ugradnja okvira rešetaka i okana nakon kontinuirano izvedenoga završnog asfaltno sloja omogućuje uklapanje u voznu površinu i smanjenje utjecaja na razinu ravnosti, pa je poželjan način faze izvedbe prekida. Broj radnih spojeva u uzdužnom i poprečnom smjeru treba minimalizirati jer imaju za posljedicu smanjenje razine ravnosti vozne površine i potencijalna su mjesta pogoršanja indeksa ravnosti asfaltnih kolnika.

Posebno je istraživanjem utvrđeno da ukupna debljina asfaltnih slojeva i prijelazne dilatacijske naprave (u tunelu revizijski otvori i slivnici) imaju glavni utjecaj na lošiju ravnost vozne površine cestovnih građevina: mostova, vijadukata, podvožnjaka, nadvožnjaka i tunela [11].

Neravnost vozne asfaltno površine građevina može se smanjiti polaganjem svih asfaltnih slojeva kolničke konstrukcije, kao što se izvodi na prilazima (klinovima) građevinama i na dijelu ceste između građevina cestovne infrastrukture. Izvedbom kompletnoga asfaltno kolnika (istih asfaltnih slojeva) na trasi i preko građevine smanjuje se mogućnost pojave plastičnih deformacija u obliku kolutruga koje izravno utječu na pogoršanje ravnosti vozne površine, i uzdužne i poprečne.

Kontinuirani elastični prijelazi preko dilatacijskih otvora izvode se u debljini asfaltnih slojeva ispred građevine. U pripremljeni otvor iznad dilatacijske razdjelnice nosive ploče ugrađuju se gumena brtva i preklopna ploča, zatim se postavlja sustav okvira i opruga koji se ispunjava mješavinom granulata šljake i visokopolimeriziranoga penetriranoga bitumenskog veziva. Kontinuirana vozna površina takvog tipa dilatacijske naprave omogućuje postizanje homogene razine ravnosti na cijeloj dionici ceste, kao što je izvedeno u trasi Jadranske avenije na podvožnjaku kod zagrebačke *Arene*.

3.3 Uvjeti izvođenja asfaltno sloja

Proizvedena asfaltna mješavina mora zadovoljavati projektirani sastav kojim su uvjetovana njezina fizikalno-mehanička svojstva. Radnim se sastavom potvrđuje asfaltno postrojenje za proizvodnju asfalta. Oba su doku-

menta dokaz da je asfaltna mješavina pogodna za izvedbu asfaltnog sloja propisane ravnosti.

Izvedbom probne dionice asfaltnog sloja utvrđuje se potrebna mehanizacija za transport, ugradnju i zbijanje asfaltna mješavine te optimalni kapacitet proizvodnje odnosno ugradnje asfaltna. Posebno je važno utvrditi radnu brzinu kretanja *finišera*, kojom se postiže tražena razina ravnosti, dakako uz uvjet kontinuiranog dotoka asfaltna mješavine, jer svako zastajkivanje pri ugradnji utječe na valovitost površine sloja.

Temperatura asfaltna mješavine pri proizvodnji, transportu, ugradnji i zbijanju treba biti u području ekvivalentne temperature veziva. Na taj se način osigurava postizanje traženih fizikalno-mehaničkih svojstava asfaltnog sloja pri optimalnom vremenu miješanja, prijevoza, razastiranja i zbijanja asfaltna mješavine. Na temperaturu asfaltna izravno utječu klimatski uvjeti okoline. Asfaltiranje je moguće pri temperaturi zraka iznad 10 °C (iznimno 5 °C) bez jakog vjetera i kiše. Najpovoljnije temperature okoline i asfaltna omogućavaju kvalitetnu ugradnju sloja i postizanje dobre ravnosti vozne površine asfaltnog kolnika.

Dinamikom izvođenja radova i uporabljenoj asfaltnom mehanizacijom treba težiti što je moguće manjim duljinama radnih spojeva. Radni spojevi zahtijevaju zasebnu obradu, čestu ručnu doradu površina sloja pri ugradnji i poseban režim valjanja (zbijanja). Iz navedenih se razloga radi o mjestima koja utječu na lošiju ravnost vozne površine kolnika i predstavljaju potencijalna područja progresivnog pogoršanja ravnosti tijekom uporabe.

4 Ocjena ravnosti vozne površine kolnika

Ravnost ceste jest direktan čimbenik udobnosti vožnje pa stoga treba biti razvrstana u ovisnosti o kategoriji odnosno razredu ceste (PGDP), pripadnoj razini usluge (tip prometnog toka) i projektnoj brzini vožnje koja se može smatrati glavnim parametrom kriterija ravnosti vozne površine. S povećanjem brzine prometovanja, uz uvjet iste udobnosti vožnje, očekuje se bolji indeks ravnosti vozne površine jer se radi o uzročno posljedičnim vezama. Prometno opterećenje ceste izraženo brojem prijelaza ekvivalentnoga osovinskog opterećenja (82 kN) nije nužno u korelaciji s operativnom brzinom cestovne prometnice jer ovisi o sastavu prometnog toka odnosno o udjelu teških vozila.

4.1 Kategorizacija asfaltnih kolnika

Za potrebe ovog rada, radi spoznavanja utjecaja vrste građevinskog zahvata na kolničkoj konstrukciji u odnosu na postignutu razinu ravnosti, provedena je kategorizacija asfaltnih kolnika.

Podjela cesta u tablici 2. na razrede prema kategoriji asfaltnog kolnika u ovisnosti o opsegu građevinskog zahvata na kolniku, provedena je radi utvrđivanja kriterija ravnosti voznih površina asfaltnih kolnika.

Tablica 2. Kategorije asfaltnog kolnika prema razredima javnih cesta odnosno opsegu građevinskog zahvata

Razred ceste	Kategorija asfaltnog kolnika	Opseg građevinskog zahvata
I-a	autoceste - novogradnja	• novoizvedena asfaltna kolnička konstrukcija u sklopu novogradnje autocesta (bez građevina)
I-b	autoceste - obnova	• novoizvedeni asfaltni slojevi u sklopu obnove kolnika autocesta (bez građevina)
I-c	autoceste - građevine	• novoizvedeni asfaltni kolnički zastor objekata u sklopu novogradnje i obnove autocesta
II-a	državne ceste - novogradnja	• novoizvedena asfaltna kolnička konstrukcija u sklopu novogradnje državnih cesta
II-b	državne ceste - rekonstrukcija	• novoizvedeni asfaltni slojevi u sklopu rekonstrukcije kolnika državnih cesta
II-c	državne ceste - nadogradnja	• novoizvedeni asfaltni slojevi u sklopu nadogradnje (presvlačenja) kolnika državnih cesta
III	gradske ceste	• novoizvedeni asfaltni slojevi u sklopu novogradnje i rekonstrukcije gradskih cesta

Unutar pojedinih glavnih razreda rezultati mjerenja indeksa ravnosti grupiraju se prema opsegu građevinskog zahvata koji bitno utječe na postizanje ravnosti asfaltnih kolnika.

Izmjerene uzdužne ravnosti voznih površina javnih cesta prikupljene su u sklopu provođenja kontrole kvalitete izvedenih asfaltnih slojeva, na razredima cesta I-a do III., za različite vrste zahvata na kolnicima diljem Hrvatske cestovne mreže u razdoblju od 2004. do 2007. godine.

4.2 Analiza izmjerenih vrijednosti indeksa IRI100

U okviru analiza obrađeno je ukupno 9.725 podataka utvrđenih indeksom IRI₁₀₀, ukupno 972.500 metara vozne površine asfaltnih kolnika [12]. Svaki podatak odnosi se na segment od sto metara mjernog profila vozne površine.

Za svaku od 111 reprezentativnih mjernih dionica proveden je proračun sljedećih statističkih veličina:

- **minimalni IRI₁₀₀ (MIN)**; funkcija MIN koja predstavlja najmanju vrijednost promatranih podataka

- **maksimalni** IRI_{100} (**MAX**), funkcija MAX koja predstavlja najveću vrijednost promatranih podataka
- **srednja vrijednost** indeksa ravnosti IRI_{100} (**SRED**), funkcija AVERAGE koja predstavlja prosječnu vrijednost promatranih podataka
- **80 % pojava** IRI_{100} , funkcija PERCENTILE (0,8) koja predstavlja 80 %-tnu pojava vrijednosti promatranih podataka
- **95 % pojava** IRI_{100} , funkcija PERCENTILE (0,95) koja predstavlja 95 %-tnu pojava vrijednosti promatranih podataka.

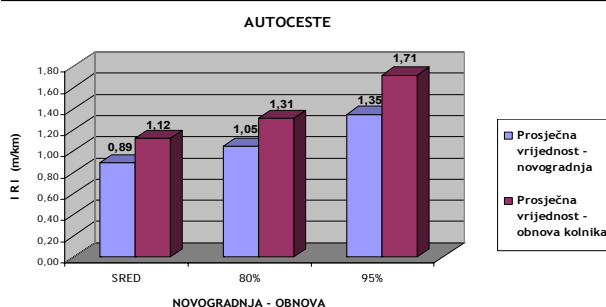
Za daljnju analizu prosječne vrijednosti (PROSJEK) ravnosti pojedinog razreda ceste u ovisnosti o opsegu građevinskog zahvata na asfaltnom kolniku uzete su statističke veličine srednje vrijednosti (SRED), 80 %-tne i 95 %-tne pojavnosti IRI_{100} .

4.2.1 Indeksi ravnosti na autocestama

Visok stupanj ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika na autocestama zahtjeva se s razlogom jer se radi o prometnicama velike protočne moći ($PGDP > 14000$) i velikih brzina vožnje prometnog toka. Za potrebe određivanja kriterija indeksa ravnosti vozne površine obrađeno je 504,6 km mjernih profila izvedenih kolnika autocesta.

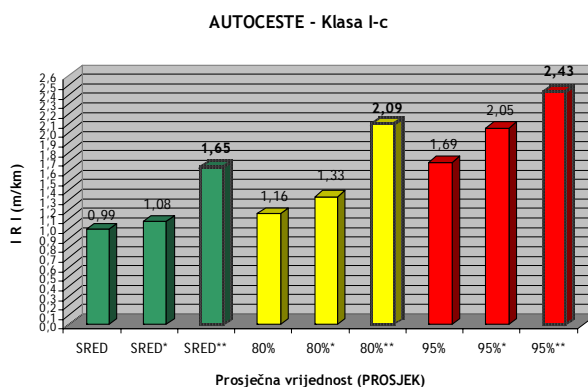
Razlike indeksa ravnosti voznih površina obnovljenih asfaltnih kolnika autocesta u odnosu na novoizgrađene prikazane su na slici 6. Povećanja prosječnih vrijednosti (PROSJEK) su sljedeća:

- srednja vrijednost IRI_{100} veća je za 0,23 m/km
- 80%-tnu pojava vrijednost IRI_{100} veća je za 0,34 m/km
- 95%-tnu pojava vrijednost IRI_{100} veća je za 0,36 m/km.



Slika 6. Usporedan grafički prikaz prosječnih vrijednosti indeksa ravnosti na novoizgrađenim i obnovljenim kolnicima autocesta

Na slici 7. nalazi se usporedni prikaz prosječnih vrijednosti promatranih statističkih veličina indeksa ravnosti voznih površina asfaltnih kolnika autocesta.



Slika 7. Grafički prikaz prosječnih vrijednosti indeksa ravnosti na autocestama, posebno trasa; trasa zajedno s građevinama (*) i posebno građevine (**)

Udio građevina na nekoj dionici evidentno utječe na ukupnu ravnost pa je stoga potreban poseban kriterij

ravnosti za asfaltne zastore građevina, odnosno za dijelove cesta na kojima postoje prekidu u voznj površini kolnika.

4.2.2. Indeksi ravnosti na državnim cestama

Državne ceste predstavljaju drugu obrađenu skupinu cestovnih prometnica. Radi se o cestama različitih prometnih opterećenja i različitih geometrijskih elemenata. Zahtjevi na ravnost voznih površina asfaltnih kolnika ove vrste prometnica znatno se razlikuju u ovisnosti o razredu prometnog opterećenja izraženog prosječnim godišnjim dnevnim prometom ($3000 < PGDP \leq 14000$).

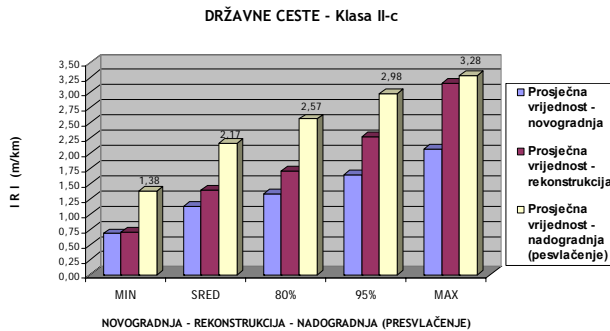
Podaci o indeksu uzdužne ravnosti na državnim cestama posebno su obrađeni za novogradnje, s obzirom da se radi o prometnicama koje imaju elemente brzih cesta. Posebno su obrađene dionice rekonstruiranih kolnika jer ovaj opseg građevinskog zahvata ima najveću zastupljenost u sektoru održavanja u Hrvatskoj. Dodatno su analizirane ravnosti voznih površina na dionicama državnih cesta na kojima je izvedena samo nadogradnja (presvlačenje tankim asfaltnim slojevima) postojećih kolnika.

Ukupno je obrađeno 432,4 km izvedene vozne površine asfaltnih kolnika državnih cesta.

Usporedni grafički prikaz statističkih veličina indeksa ravnosti voznih površina novoizgrađenih, rekonstruiranih i nadograđenih (presvučenih) asfaltnih kolnika državnih cesta (slika 8.) pokazuje znatno slabije ravnosti odnosno velike razlike prosječnih vrijednosti (PROSJEK) IRI -ja promatranih s obzirom na opseg građevinskog zahvata na kolniku:

- srednja vrijednost IRI_{100} na nadogradnji (presvlačenju) kolnika veća je za 0,78 m/km nego kod rekonstrukcija, odnosno veća je za 1,04 m/km od novogradnje državnih cesta

- 80 %-tna pojavnost IRI_{100} na nadogradnji (presvlačenju) kolnika veća je za 0,87 m/km nego kod rekonstrukcija, odnosno veća je za 1,23 m/km od novogradnje državnih cesta, a
- 95 %-tna pojavnost IRI_{100} na nadogradnji (presvlačenju) kolnika veća je za 0,70 m/km nego kod rekonstrukcija, odnosno veća za 1,33 m/km od novogradnje državnih cesta.

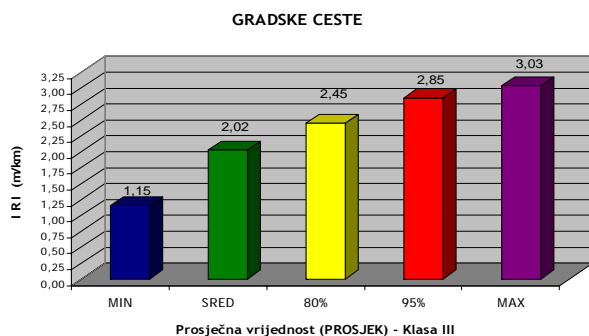


Slika 8. Usporedni grafički prikaz prosječnih vrijednosti indeksa ravnosti na novoizgrađenim, rekonstruiranim i nadograđenim (presvučenim) kolnicima državnih cesta

4.2.3 Indeksi ravnosti na gradskim cestama

Gradske ceste svrstane su u treću skupinu cestovnih prometnica, pri čemu su prikupljeni podaci obrađeni u jednoj grupi koja obuhvaća novoizvedene i rekonstruirane dijelove asfaltnih kolničkih konstrukcija. Važno je napomenuti da se u koridoru gradskih cestovnih prometnica redovito postavljaju instalacije vode, kanalizacije, plina, struje, telefona i ostalo, čija se revizijska okna nalaze na voznoj površini i utječu na smanjenje razine ravnosti asfaltnih kolnika. Prekidi u voznoj površini koji su posljedica komunalnih instalacija izravno utječu na udobnost vožnje, a neizravno zbog otežanog izvođenja asfaltnih slojeva imaju utjecaj i na postignutu razinu indeksa ravnosti.

Na slici 9. prikazane su prosječne vrijednosti (PROSJEK) promatranih statističkih parametara.



Slika 9. Grafički prikaz prosječne vrijednosti statističkih veličina indeksa ravnosti na gradskim cestama

4.2.3. Utvrđeni kriteriji ravnosti kolnika javnih cesta

Srednja vrijednost IRI_{100} (SRED) predstavlja aritmetičku sredinu područja kretanja indeksa ravnosti pojedine mjerne dionice, odnosno kategorije asfaltnog kolnika i smatra se očekivanom ravnosti vozne površine. Analizirani indeksi ravnosti IRI_{100} koji se pojavljuju na polovici izvedenih vozni površina asfaltnih kolnika uzeti su kao ciljani kriteriji ravnosti pojedinog razreda ceste. Postignute prosječne ravnosti smatraju se realnim mogućnostima asfaltne tehnologije i predstavljaju uvjet kvalitete kolnika koji se postavlja pred izvođača radova. Uvjet ravnosti temeljen na srednjoj vrijednosti indeksa ravnosti definira se projektom kolnika.

Područje u kojem su vrijednosti IRI_{100} izvan 95 %-tne pojavnosti (PERCENTILE 0,95) indeksa ravnosti mjerne dionice ili kategorije asfaltnog kolnika smatra se neprihvatljivom ravnosti vozne površine. Statistički gledano, radi se o području odbacivanja (5 %) promatranih podataka kao ekstrema i odnosi se na one vrijednosti indeksa ravnosti koji se nalaze izvan 95 %-tne pojavnosti svih promatranih IRI_{100} . U naravi to su neravne vozne površine koje treba sanirati novim asfaltnim slojem projektiranih indeksa ravnosti.

Tolerantno područje ravnosti vozne površine nalazi se između statističkih veličina: srednje vrijednosti i 95 %-tne pojavnosti indeksa IRI_{100} . Ovo područje pokriva široki raspon vrijednosti indeksa i ima obilježja umanjene, ali još uvijek prihvatljive ravnosti asfaltnog kolnika.

Vrijednost 80 %-tne (PERCENTILE 0,8) pojavnosti IRI_{100} dijeli tolerantno područje u dva približno jednaka intervala i predstavlja granicu između I. i II. stupnja tolerantnosti. Prvi (I.) stupanj tolerantnosti pokriva blaža odstupanja ravnosti vozne površine. Investitorova nadzorna služba nakon uočavanja čimbenika slabijih ravnosti unutar I. stupnja donosi odluku postoji li objektivni razlog za sankcioniranje izvedenih asfaltnih radova. Drugi (II.) stupanj tolerantnosti veći 80 %-tne pojavnosti IRI pokriva znatna odstupanja ravnosti i izvođač asfaltnih radova snosi financijske posljedice umanjene kvalitete ravnosti vozne površine kolnika.

Na osnovi statističko - probabilističke analize dovoljno velikog broja podataka vrijednosti IRI_{100} , izmjerenih na reprezentativnim mjernim dionicama izvedenih asfaltnih vozni površina kolnika javnih cesta diljem Republike Hrvatske, usvojeni su sljedeći granični kriteriji ravnosti:

IRI_P – projektirani (očekivani) donji granični indeks, kriterij je definiran na osnovi prosjeka srednjih vrijednosti IRI_{100} ,

IRI_T – tolerantni granični indeks, nalazi se između dva krajnja granična indeksa, kriterij je definiran na osnovi prosjeka 80 %-tne pojavnosti vrijednosti IRI_{100} i

IRI_N – neprihvatljivi gornji granični indeks ravnosti (granica uporabljivosti), kriterij je definiran na osnovi prosjeka 95%-tne pojavnosti vrijednosti IRI_{100} .

U tablici 3. nalaze se analizom utvrđene granične vrijednosti usvojenog indeksa ravnosti (IRI_P ; IRI_T ; IRI_N) vozni površina prema trima glavnim razredima ceste (I., II., III.) za sedam kategorija asfaltnog kolnika (I-a, I-b, I-c, II-a, II-b, II-c, III) javnih cesta.

obnovi, rekonstrukciji ili nadogradnji. Najlošije ravnosti odnosno najveći indeksi su kod nadogradnje (presvlačenja) državnih cesta, a nešto su bolji indeksi na gradskim cestama iako one pripadaju nižem razredu javnih cesta. Kriteriji ravnosti na građevinama autocesta znatno su niži od onih na trasi, odnosno veće su vrijednosti indeksa IRI.

Na slici 10. nalazi se grafički i tablični prikaz vrijednosti graničnih kriterija ravnosti vozni površina po razre-

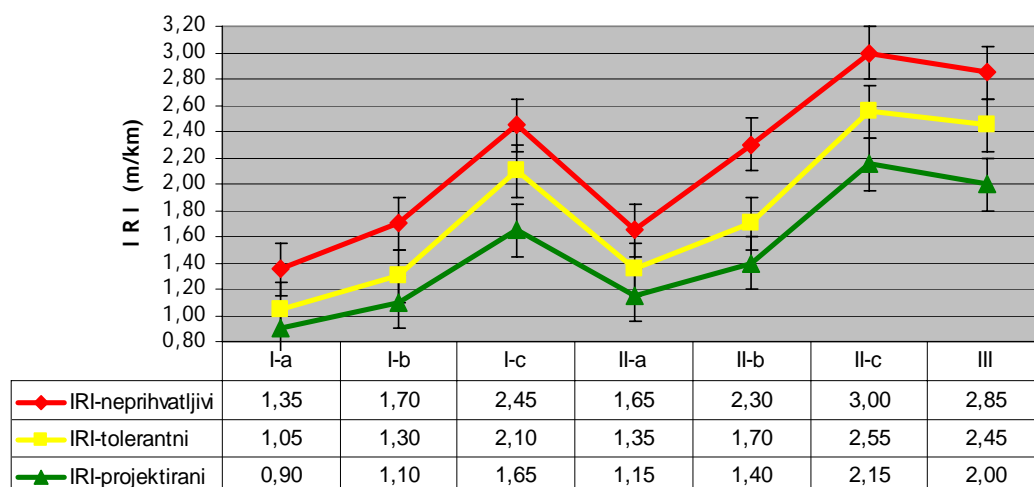
Tablica 3. Kriteriji graničnih indeksa ravnosti vozni površina asfaltnih kolnika javnih cesta

RAZRED CESTE	KATEGORIJA ASFALTOG KOLNIKA	PROJEKTIRANI INDEKS RAVNOSTI (IRI_P) [m/km]	TOLERANTNI GRANIČNI INDEKSI RAVNOSTI (IRI_T) [m/km]	NEPRIHVATLJIVI INDEKS RAVNOSTI (IRI_N) [m/km]
I-a	autoceste - novogradnja	$IRI_{PAN} \leq 0,90$	$IRI_{TAN} = 1,05$	$1,35 \leq IRI_{NAN}$
I-b	autoceste - obnova	$IRI_{PAO} \leq 1,10$	$IRI_{TAO} = 1,30$	$1,70 \leq IRI_{NAO}$
I-c	autoceste - objekti	$IRI_{PAB} \leq 1,65$	$IRI_{TAB} = 2,10$	$2,45 \leq IRI_{NAB}$
II-a	državne ceste - novogradnja	$IRI_{PDN} \leq 1,15$	$IRI_{TDN} = 1,35$	$1,65 \leq IRI_{NDN}$
II-b	državne ceste - rekonstrukcija	$IRI_{PDR} \leq 1,40$	$IRI_{TDR} = 1,70$	$2,30 \leq IRI_{NDR}$
II-c	državne ceste - nadogradnja (presvlačenje)	$IRI_{PDD} \leq 2,15$	$IRI_{TDD} = 2,55$	$3,00 \leq IRI_{NDD}$
III	gradske ceste	$IRI_{PG} \leq 2,00$	$IRI_{TG} = 2,45$	$2,85 \leq IRI_{NG}$

Tri granična kriterija ravnosti vozni površina povećavaju se ovisno o smanjenju razine građevinskog zahvata odnosno sa smanjenjem kategorije asfaltnog kolnika. Na autocestama su zahtjevi ravnosti najviši i očekuju se najmanji indeksi. Kod novogradnje asfaltnih kolnika bolje su ravnosti, manji su indeksi od onih koji se postižu na

dima cesta odnosno kategorijama asfaltnih kolnika iz kojeg je vidljivo da je raspon između projektiranog i neprihvatljivog indeksa ravnosti najmanji na novogradnji, nešto veći na obnovi i rekonstrukciji, dok je najveći raspon na građevinama i nadogradnji (presvlačenju) kolnika.

KRITERIJI RAVNOSTI VOZNI POVRŠINA ASFALJNIH KOLNIKA



Klasa ceste - Kategorija asfaltnih kolnika

Slika 10. Grafički prikaz graničnih kriterija ravnosti vozni površina u ovisnosti o razredu ceste – kategoriji asfaltnog kolnika

5 Zaključak

Opsežnom analizom velikog broja indeksa ravnosti IRI_{100} utvrđena su tri granična kriterija ravnosti, projektirani (IRI_P); tolerantni (IRI_T) i neprihvatljivi (IRI_N).

Tri granična kriterija definiraju četiri područja ravnosti voznih površina za svaku kategoriju kolnika:

- A - vrijednosti indeksa ravnosti $IRI_{100} < IRI_P$
– stimulatívno područje ravnosti;
- B1 - vrijednosti indeksa ravnosti IRI_{100} nalaze se između prvih dvaju graničnih kriterija $IRI_P \leq IRI_{100} < IRI_T$
– područje I-stupnja tolerantnosti, prihvatljivo ili sankcionirano područje ravnosti
- B2 - vrijednosti indeksa ravnosti IRI_{100} nalaze se između druga dva granična kriterija $IRI_T \leq IRI_{100} < IRI_N$
– to je područje II-stupnja tolerantnosti, a radi se o sankcioniranom području ravnosti
- C - vrijednosti indeksa ravnosti $IRI_{100} \geq IRI_N$
– područje neprihvatljive ravnosti.

Granični kriteriji ravnosti po svojim se vrijednostima mijenjaju ovisno o kategoriji asfaltnog kolnika odnosno

opsegu građevinskog zahvata na kolničkoj konstrukciji ceste. Utvrđene vrijednosti kriterija ravnosti asfaltno vozne površine svrstane su u sedam kategorija:

- I-a za novoizgrađeni kolnik autoceste
- I-b za obnovljeni kolnik autoceste
- I-c za kolnički zastor na građevini autoceste
- II-a za novoizgrađeni kolnik državne ceste
- II-b za rekonstruirani kolnik državne ceste
- II-c za nadograđen (presvučen) kolnik državne ceste i
- III za kolnik gradske ceste.

Granični indeksi ravnosti definirani na osnovi srednje vrijednosti (SRED), 80%-tne i 95%-tne pojavnosti IRI_{100} imaju statističku osnovu, a temeljeni su na iskustvenim podacima obračuna izvedenih asfaltnih radova tijekom izgradnje i obnove kolnika javnih cesta u Hrvatskoj. Granične vrijednosti predstavljaju realne mogućnosti Hrvatske cestograđevne operative, a iskustvo i razvoj asfaltno tehnologije omogućavaju progres postizanja boljih pokazatelja ravnosti voznih površina kolnika.

LITERATURA

- [1] Šimun, M.: *Kriteriji ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika*, magistarski rad, Građevinski fakultet, Zagreb 2008.
- [2] HRN EN 13036-7, Površinska svojstva cesta i aerodromskih operativnih površina – Ispitne metode – 7. dio: Mjerenje neravnosti slojeva kolnika: ispitivanje mjernom letvom
- [3] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (OTU/89), Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1989.
- [4] Sršen, M.: *Procjena kvalitete vožnje na asfaltnom kolniku Bump-integratorom*, Zbornik radova II jugoslavenskog simpozija o bitumenu i asfaltu, JAZU, serija C, Knjiga 5, Poreč, 1981., str. 407-418
- [5] www.arrb.com.au – *Walking Profiler Instruction Manual*
- [6] Determination of the International Roughness Index (IRI) using ARRB TR Walking Profiler, AUSTRROADS Pavement Test, PAT01:2001
- [7] www.greenwood.dk
- [8] Sayers, M. W.; Karamihis, S. M.: *The Little Book of Profiling*, University of Michigan Transportation Research Institute, 1997, 100 str.
- [9] Sayers, M. W.; Gillespie, T. D.; Paterson, W.D.O.: *Guidelines for Conduction and Calibrating Road Roughness Measurement*, World Bank Technical Paper Number 46, 1986, 87 str.
- [10] Sayers, M. W.: *On the Calculation of International Roughness Index*, Longitudinal Road Profile Transportation Research Record 1501, 1995, pp. 1-12
- [11] Šimun, M.; Sršen, M., *Ravnost kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture*, Građevinar 59 (2007) 5, 395-405
- [12] IGH-IRI baza.xls