

Ravnost kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture

Miroslav Šimun, Mate Sršen

Ključne riječi

kolnički zastor, građevina cestovne infrastrukture, vozna površina, asfaltni kolnik, ravnost, indeks ravnosti (IRI)

Key words

pavement surfacing, road structure, driving surface, asphalt pavement, evenness, international roughness index (IRI)

Mots clés

surface de chaussée, ouvrage routier, surface de roulement, chaussée en enrobé, uni, index international de la rugosité (IRI).

Ключевые слова

дорожное покрытие, объект дорожной инфраструктуры, проезжая часть, асфальтовое дорожное покрытие, ровность, индекс ровности (IRI)

Schlüsselworte

Fahrbahnbelag, Bauwerk der Strasseninfrastruktur, Fahrbahnoberfläche, Asphaltbelag, Ebenheit, Ebenheitsindex (IRI)

M. Šimun, M. Sršen

Pregledni rad

Ravnost kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture

Prikazani su postupci i uređaji za mjerenje ravnosti vozne površine kolnika s isticanjem problematike postizanja ravnosti kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture (most, vijadukt, tunel). Utvrđeno je da nije realno očekivati postizanje proporcionalno istih vrijednosti indeksa ravnosti asfaltnih zastora na građevinama i na cesti. Predlaže se razmatranje mogućnosti uvođenja koeficijenta umanjenja vrijednosti indeksa ravnosti IRI za vozne površine na građevinama.

M. Šimun, M. Sršen

Subject review

Evenness of pavement surfacing on road structures

Procedures and devices used for measuring evenness of pavement surface are presented, and problems of obtaining an appropriate evenness of pavement surface on road structures (bridges, viaducts, tunnels) are emphasized. The authors have determined that proportionally similar roughness indices can not realistically be expected for asphalt pavements on structures when compared to roads. A possibility of introducing a coefficient for reducing the international roughness index (IRI) index for driving surfaces on road structures is proposed.

M. Šimun, M. Sršen

Ouvrage de synthèse

L'uni de la surface de chaussée sur les ouvrages routiers

Les procédés et les dispositifs utilisés pour mesurer l'uni de la surface des chaussées sont présentés, et les problèmes d'obtention de l'uni adéquate sur les ouvrages routiers (ponts, viaducs, tunnels) sont mis en relief. Les auteurs ont déterminé que les indices pour les ouvrages et les routes ne peuvent pas être considérées comme identiques. La possibilité d'introduire le coefficient de réduction de l'index international de la rugosité de rugosité (IRI) pour les surfaces de roulement des ouvrages routiers est proposée.

M. Шимун, М. Сршен

Обзорная работа

Ровность дорожных покрытий на объектах дорожной инфраструктуры

В работе показаны способы и устройства для измерения ровности проезжей части дороги с подчёркиванием проблематики достижения ровности дорожных покрытий на объектах дорожной инфраструктуры (мост, виадук, тоннель). Утверждено, что нереально ожидать достижение пропорционально одинаковых индексов ровности асфальтных дорожных покрытий на объектах и на дороге. Предлагается рассмотреть возможности введения коэффициента снижения значени индекса ровности (IRI) для проезжих частей на объектах.

M. Šimun, M. Sršen

Übersichtsarbeit

Ebenheit der Beläge auf Bauwerken der Strasseninfrastruktur

Dargestellt sind Verfahren und Anlagen für die Messung der Ebenheit der Fahrbahnoberfläche auf Bauwerken der Strasseninfrastruktur (Brücke, Talbrücke, Tunnel) mit Betonung der Problematik die Ebenheit zu erreichen. Es ist festgestellt dass man nicht real erwarten kann dass man die gleichen Werte des Ebenheitsindex des Asphaltbelags auf der Strasse und den Bauwerken erreichen kann. Man schlägt vor die Möglichkeit der Einführung eines Verminderungsbeiwerts des Ebenheitsindex IRI für Fahrbahnen auf Bauwerken zu erwägen.

Autori: **Miroslav Šimun**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Mate Sršen**, dipl. ing. građ., Građevinski institut Hrvatske, Zavod za prometnice, Zagreb

1 Uvod

Vozna površina kolnika svake ceste mora biti projektirana i izgrađena tako da osigura udobno i sigurno prometovanje cestovnih vozila projektiranim brzinama u projektnom razdoblju eksploatacije. Za osiguranje stabilnosti vozila i sigurnosti vožnje, zahtjevi koji se postavljaju na parametre vozne površine ceste u usjecima odnosno nasipima ne razlikuju se niti na građevinama cestovne infrastrukture (mostovi/vijadukti, tuneli). Jedan od relevantnih parametara koji izravno utječe na takve zahtjeve jest ravnost vozne površine kolnika. Ravnost kolnika, osim na udobnost i sigurnost prometovanja, utječe i na trajnost kolničke konstrukcije i samih vozila, što u konačnici negativno utječe i na okoliš (povećanje buke i zagađivanje zraka). Treba istaknuti da je ravnost jedan od ključnih parametara u gospodarenju cestama (sustavno održavanje cesta prema troškovima oštećenja vozila i vremena putovanja).

Općenito se razlikuje uzdužna ravnost (u smjeru vožnje) iskazana kao indeks ravnosti IRI (*International Roughness Index*) i poprečna ravnost iskazana kao dubina koltraga ili pogreška profila vozne površine ceste.

Istraživanja pojedinačnih indikatora uzdužne ravnosti u sklopu znanstvenog projekta Europske fondacije za znanost [1] također pokazuju da se parametar IRI upotrebljava u većini država Europske unije i SAD-u. Razredi i pripadne vrijednosti IRI-ja za ocjenu ravnosti i udobnosti vožnje kolnikom, dobiveni od cestovnih uprava, potvrđuju da se Hrvatska nalazi u globalnom trendu mjerenja odnosno utvrđivanja uzdužne ravnosti cesta.

Mjerenje indeksa ravnosti radi praćenja stanja vozne površine kolnika s aspekta planiranja zahvata održavanja same kolničke konstrukcije jedan je od važnijih parametara koji se primjenjuju u računalnim programima za gospodarenje kolnicima (npr. HDM-4 model) [2].

Indeks ravnosti vozne površine kolnika mjera je udobnosti vožnje i u funkciji je dopuštene brzine vožnje na određenoj dionici ceste, što se odnosi i na dionice na kojima se nalazi most ili vijadukt, osim ako za njih nije propisana posebna dopuštena brzina vožnje.

Naime za razliku od ostalog dijela ceste na građevinama cestovne infrastrukture postoje dodatne teškoće koje utječu na postizanje ravnosti. To su:

- neravnost nosivih ploča građevina izravni je uzrok neravnosti zaštitnoga izravnavajućega asfaltnog sloja podloge habajućem sloju
- vremenski uvjeti i kontinuitet ugradnje, te vrsta asfaltna mješavine i debljina sloja uvelike utječu na konačnu ravnost vozne površine kolnika
- uporabljena mehanizacija za ugradnju (tip finišera, valjci i kamioni) i razina preciznosti geodetskog vo-

đenja ugradnje također su važni parametri za postizanje ravnosti asfaltnog sloja

- projektirana niveleta kolnika (uzdužni i poprečni nagibi, vertikalna zaobljenja i horizontalne krivine, proširenja kolnika), unaprijed su definirani ograničavajući faktori za postizanje ravnosti
- učestalost prekida vozne površine na prijelaznim dilatacijskim napravama građevina cestovne infrastrukture poseban je uzrok neravnosti-udobnosti vožnje.

S obzirom na kategoriju ceste (autocesta, državna cesta ili gradska cesta) svakako treba propisati različite vrijednosti indeksa ravnosti, a treba uzeti u obzir i utjecaj geometrijskih elemenata ceste (nagibi i zaobljenja nivelete vozne površine) te broj prisilnih prekida vozne površine (prijelazne dilatacijske naprave; revizijska okna i vodolovna grla-slivnici).

Iskustvo u Hrvatskoj posljednjih nekoliko godina pokazuje da je obveza utvrđivanja ravnosti indeksom IRI pridonijela tehnološkom unapređivanju pri izvođenju i boljim projektantskim rješenjima. Rezultat je postizanje boljih ravnosti voznih površina na novoizvedenim dionicama autocesta. Trebalo bi nastojati da se isti učinak postigne i na nižim kategorijama cesta i na cestovnim građevinama.

U ovome su radu opisani standardizirani načini mjerenja i iskazivanja vrijednosti uzdužne ravnosti-udobnosti vožnje, te analizirani utjecaji na početne i eksploatacijske vrijednosti ravnosti, kao i utvrđivanje kriterija tolerancije indeksa ravnosti IRI na prijelazima s ceste na građevine cestovne infrastrukture.

2 Uređaji (tipovi) za mjerenje ravnosti kolnika

Postoje brojni uređaji (tipovi) za mjerenje ravnosti cesta - od obične mjerne letve do uređaja koji se koriste laserskom tehnologijom. U nastavku su opisani uređaji za mjerenje ravnosti koji su se do sada rabili ili se još uvijek rabe pri građenju i održavanju cesta i cestovne infrastrukture u Hrvatskoj.

2.1 Mjerna letva duljine 4 metra

Mjerna letva duljine 4 m postavlja se na površinu izvedenog kolnika kako bi se utvrdila odstupanja od ravnine letve do profila kolnika u ekstremnoj točki. Letva se pri mjerenju povlači, pri čemu se mjere odstupanja uzdužno po profilu mjerne dionice na kojoj se mjeri ravnost. Mjerenje ravnosti kolnika letvom vrlo je sporo, nije praktično, niti je precizno. Rizik operatera od moguće pogreške pri mjerenju je visok, a stupanj učinkovitosti na cesti tijekom mjerenja malen.

2.2 HI-LO detektor

HI-LO detektor je greda duljine 4 metra oslonjena na svojim krajevima na kotače. U sredini ima mjerni kotač

koji se u zavisnosti od profila kolnika izdiže i spušta u odnosu na ravninu grede, pri čemu izravno pomiče mjernu skalu. Greda se gura po mjernom profilu, pri čemu se posebno zapisuju vrijednosti odstupanja u milimetrima. Ovaj uređaj registrira svaku neravninu tri puta - jednom kad preko nje prijeđe prvi kotač, drugi put pri prelasku mjernog kotača i treći put kod prelaska zadnjeg kotača.

Zavod za prometnice IGH obavljao je desetak godina mjerenja ravnosti voznih površina cesta HI-LO detektorom u sklopu kontrolnih ispitivanja asfaltnih radova. Rezultati mjerenja iskorišteni su za proračun indeksa ravnosti sukladno Općim tehničkim uvjetima [3].

2.3 Integrator neravnina (Bump Integrator)

Integrator neravnina jest uređaj koji se sastoji 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 po mjernom profilu kolnika vučnim vozilom pri brzini od 30 do 50 km/h.

Uređaj mjeri amplitude neravnina odnosno relativni pomak mjernog kotača u odnosu na okvir. Električni brojač bilježi relativni pomak od 2,54 cm (1 inč) kao jednu brojčanu jedinicu.

Izlazni rezultati nakon mjerenja daju su u obliku grafičkog zapisa i brojčano.

Brojčani rezultat dobiven mjerenjem integratorom neravnina rabi se za proračun indeksa ravnosti površine ceste (R), koji se dobije iz odnosa vrijednosti integriranih pomaka kotača i prijeđenog razmaka, a izražava se u m/km (ili inč/milju).

U okviru AASHO testa [4] uspostavljen je odnos između indeksa ravnosti (R) i indeksa služnosti kolnika (PSI) koji se u nekim državnim upravama rabi za procjenu potreba održavanja kolnika.

Zavod za prometnice IGH posjedovao je ovaj uređaj i upotrebljavao ga za mjerenja ravnosti voznih površina cestovnih kolnika, o čemu je priopćeno na nacionalnom simpoziju o bitumenu i asfaltu u Zagrebu još 1981.[5].

2.4 Profilomjeri - International Roughness Index (IRI)

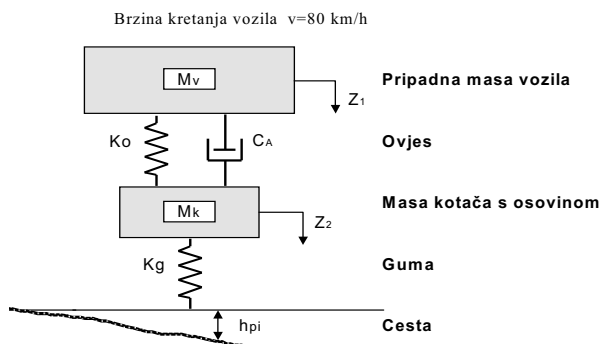
Svjetska je banka 1982. inicirala tzv. *korelacijski eksperiment* u Brazilu čiji je cilj bio analizirati moguće korelacije između postojećih podataka i standardizirati međunarodnu mjernu jedinicu za ravnost vozne površine kolnika. Pri obradi podataka ustanovljeno je da gotovo svi instrumenti za mjerenje ravnosti upotrijebljeni u raznim dijelovima svijeta mogu dati rezultate u istoj jedinici. Nakon brojnih ispitivanja kao najprikladnija univer-

zalna jedinica odabran je [m/km] na prijedlog NCHRP-a (National Cooperative Highway Program).

Nekoliko su godina testirane proračunske metode za različite postupke snimanja profila kolnika i njihovih parametara. Kao konačni rezultat objavljen je računalni algoritam za proračun referentne veličine IRI. Detaljniji opis je u radu [6].

Profilomjeri su uređaji kojima se mjeri uzdužni profil vozne površine kolnika. Međurazmak dviju evidentiranih susjednih točaka duž mjernog pravca ovisi o tipu uređaja. Vrijednosti izmjenjenoga uzdužnog profila mjernog pravca podloga je za simuliranje kretnje normiranoga dinamičkog modela četvrtine automobila (*quarter-car simulation model*) (slika 1.), koji se «proveze» po filtriranom (izravnanom) prethodno snimljenom uzdužnom profilu kolnika brzinom 80 km/h. Program računa relativne pomake ovjesa normiranog modela automobila (prema ASTM E 1170-97) [7] u odnosu na kabinu vozila, a koji su posljedica neravnina izmjenjenoga uzdužnoga profila kolnika. Zbroj (simuliranih) vertikalnih pomaka ovjesa podijeljen s duljinom mjernog profila je vrijednost IRI u [m/km].

Na slici 1. prikazan je model četvrtine automobila u algoritmu za IRI. Model uključuje sve važnije dinamičke elemente koji određuju na koji način neravnine kolnika utječu na vibracije vozila.



Slika 1. Model četvrtine automobila (*quarter-car simulation model*)

Elementi simulacijskog modela (tipskog automobila) definirani su sljedećim parametrima:

- C_A - koeficijent viskoznosti amortizera
- C_G - koeficijent viskoznosti gume
- K_O - koeficijent elastičnosti opruge ovjesa
- K_G - koeficijent elastičnosti opruge koja predstavlja gumu kotača
- M_V - masa vozila koju nosi jedan kotač
- M_K - masa kotača s gumom i polovicom osovine/ovjesa

Vrste uređaja za mjerenje indeksa ravnosti (IRI) u Hrvatskoj:

a) Hodajući profilomjer (Walking Profiler)

Uređaj snima mjerni profil u rasteru 241,3 mm s pomoću mjerne stope koja je povezana s inklinometrom koji određuje smjerni kut. Za svaki novi korak (241,3 mm) računalni uređaj izračunava novu referentnu ravninu odnosno vrijednost točke uzdužnog profila. Vrijednosti izmjenoga uzdužnog profila mjernog pravca rabe se kao podloga za proračun indeksa ravnosti IRI prema ASTM modelu. Hodajući profilomjer što ga posjeduje Zavod za prometnice IGH prikazan je na slici 2.



Slika 2. Hodajući profilomjer (IGH d.d.) - ARRB Walking Profiler

b) Inercijalni (laserski) profilomjeri

Ovaj tip laserskog uređaja snima mjerni profil s gustoćom rastera koja mu se zadaje. Vrijednost točke uzdužnog profila računalni uređaj izračunava kao vertikalni razmak akcelerometra smještenog u mjernom vozilu i tla izravno ispod lasera.



Slika 3. Greenwood LaserProf (IGH d.d.)

Razlika između uređaja na slikama 3. i 4. jest u broju lasera odnosno broju mjernih profila u jednom prolazu mjernog vozila, LaserProf ima jedan laser, a Profilograf radi sa sedam lasera i ima mogućnost mjerenja kolotruga.



Slika 4. Greenwood Profilograf (HC d.o.o.)

Postupak proračuna vrijednosti IRI isti je kao i za prethodni uređaj.

3 Osvrt na aktualna istraživanja ravnosti kolnika u SAD-u i Europi

3.1 Istraživanje odnosa ravnosti i odstupanja površine kolnika na WesTrack projektu [8]

Na *WesTrack* projektu istraživao se odnos između ravnosti (IRI) s početnom ravnošću (IRI_{int}), postotka pukotina od umora (Fatigue %) i dubine kolotruga (Rut Depth). Istraživanja su provedena na asfaltnom kolniku s prometnim opterećenjem od pet milijuna ekvivalentnih osovina, a izmjerena su 33 rezultata ravnosti (u razdoblju od trideset tri mjeseca). Dobivena je sljedeća korelacija:

$$IRI_{(Predicted)} = 0,597(IRI_{int}) + 0,0094(Fatigue\%) + 0,00847(RutDepth) + 0,382 \quad (a)$$

Uspoređen je predviđeni $IRI_{(Predicted)}$ s rezultatima mjerenja indeksa ravnosti IRI iskazanog u jedinici metar/kilometar, mjerenog na predmetnim dionicama cesta tijekom eksploatacije. Dobiveno odstupanje predviđenog IRI dobivenog mjerenjem jest 13,9%.

Zaključak je istraživanja da početno odstupanje (vrijednost IRI-ja prije puštanja u promet) površine kolnika ima proporcionalno najveći utjecaj na povećanje neravnosti kolnika tijekom eksploatacije i da dobivena korelacija (a) može poslužiti za predviđanje povećanja neravnosti vozne površine cestovne infrastrukture.

3-2 Procjena točnosti profila voznih površina kolnika [8]

TxDOT (*The Texas Department of Transportation*) za potrebe programa kontrole kvalitete izvođenja (QC/QA) proveo je provjeru profilografa (uređaja za mjerenje profila) odnosno provedeno je testiranje mjerenjem

ravnosti asfaltbetonskih površina na tri dionice različitih duljina i razina služnosti.

Mjerenja su obavljena sa sedam tipova profilografa:

- a) na guranje – Digital Profilite made by CSC Profilair (A) i – Walking Profiler developed by Australian Road Research Board (B),
Uspoređivanjem rezultata mjerenja utvrđeno je da uređaj B točnije snima mjerni profil od uređaj A.
- b) pet inercijalnih: - Michigan Lightweight Inertial Surface Analyzer (C), K.J. Law lightweight profilometer Model T6400(D),

2.2.1.1.1 Construction Profiler developed by TxDOT (E),

2.2.1.1.2 TxDOT Van Laser Rut/Profiler (F) i

2.2.1.1.3 TxDOT Van Surface Profiler (G).

Uspoređivanjem uređaja C, D i E utvrđeno je da uređaj E ima bolju preciznost mjerenja od uređaja C i D, dok je najmanja pogreška mjerenja utvrđena kod uređaja F.

Istraživanjem je utvrđeno da točnost rezultata mjerenja ravnosti vozne površine kolnika ovisi o vrsti uređaja, te da laserski inercijalni profilograf instaliran na kombi vozilo daje najadekvatnije vrijednosti mjernog profila kojima se utvrđuje razina udobnosti vožnje.

Tipovi uređaja za mjerenje ravnosti (A-G) pokazuju da uređaji kojima se koristimo u Hrvatskoj (točka 2.4.) ne zaostaju za najpreciznijim uređajima koji se rabe u SAD-u.

3.3 Izbor i procjena pojedinačnih indikatora uzdužne ravnosti prema projektu COST 354 [1]

U sklopu projekta COST 354 provedena je procjena pojedinačnog indikatora uzdužne ravnosti na osnovi podataka dobivenih iz 21 europske države i SAD-a. Iz podataka je očito da postoji čak 7 tipova tehničkih parametara kojima se ocjenjuje uzdužna ravnost kao indikator stanja kolnika, a najčešći tip (53 %) je IRI (*International Roughness Index*).

U većini europskih država upotrebljavaju se nacionalni standardi kao osnova za mjerenje uzdužne ravnosti. Najzastupljeniji mjerni uređaj jest laserski, dok je glavna svrha mjerenja osiguranje odnosno praćenje kvalitete ravnosti vozne površine kolnika.

Budući da je IRI jedan od najzastupljenijih parametara uzdužne ravnosti, COST 354 projekt bavi se detaljnijom analizom ovoga parametra radi usporedbe klasificiranja udobnosti vožnje kolnika u nizu europskih država.

Može se zaključiti da je primarna svrha mjerenja IRI-ja ocjena udobnosti i sigurnosti vožnje (94 %), a sekundarna je ocjena utvrđivanje stanja strukture kolnika (35 %).

Prema kategoriji ceste u 53 % cestovnih uprava, mjerenja se provode na autocestama i glavnim cestama, a u 41 % slučajeva na mreži svih cesta osim sporednih. Parametar IRI za utvrđivanje uzdužne ravnosti ponajprije se primjenjuju na fleksibilnim kolnicima, ali u 9 od 17 zemalja i za ocjenu ravnosti polukrutih i krutih kolnika. U dvije države mjerenja se rabe samo u istraživačke svrhe. Najviše cestovnih uprava (34 %) obavlja mjerenja jednom na godinu, dok se u 24 % slučajeva mjerenja obavljaju periodično svake tri godine.

Klasifikacija tehničkog parametra *International Roughness Index* (IRI) u deset europskih država i u Hrvatskoj svrstana je u 5 razreda (vrlo dobar, dobar, prihvatljiv, loš i vrlo loš), a bazna je duljina 100 m.

Vrijednosti IRI iskazane u mjernoj jedinici metar/kilometar razlikuju se u pojedinim državama i kreću se od 1,0 do 1,5 (vrlo dobra – dobra ravnost); 1,5 do 2,5 (dobra – prihvatljiva ravnost); 2,2 do 4,4 (prihvatljiva – loša ravnost) i 3,0 do 5,7 (loša – vrlo loša ravnost).

Tablica 1. Razred indeksa i vrijednosti IRI (m/km) [1]

Razredba	Indeks IRI	IRI na autocestama i glavnim cestama	IRI na ostalim cestama
vrlo dobar	[0 do 1)	< 1,1	< 1,2
dobar	[1 do 2)	1,1 do 1,9	1,2 do 2,5
prihvatljiv	[2 do 3)	1,9 do 2,6	2,5 do 3,7
loš	[3 do 4)	2,6 do 3,2	3,7 do 4,9
vrlo loš	[4 do 5]	> 3,2	> 4,9

Tablica 1. prikazuje podatke dobivene u 11 europskih država (AT, HR, DK, FI, HU, IT, NL, PL, PT, CS i SI) za pet opisnih razreda uzdužne ravnosti – udobnosti vožnje, za pripadnih pet indeksa IRI, a za dvije kategorije cesta.

4 Čimbenici koji utječu na ravnost vozne površine građevina cestovne infrastrukture

Vrijednosti uzdužne ravnosti iskazane indeksom IRI u Hrvatskoj propisane su vrijedećim tehničkim uvjetima OTU/2001[9] i TUOA/2004[10]. Zahtijevane vrijednosti kreću se od 1,0 m/km na habajućem asfaltnom sloju autocesta (najviši rang cestovne prometnice) do 3,0 m/km na nosivom asfaltnom sloju odnosno voznoj asfaltnoj površini za lako prometno opterećenje (najniži rang cestovne prometnice). Navedene se vrijednosti odnose na novoizvedene asfaltne kolničke konstrukcije. Prema TUOA zahtjev je nešto blaži i iznosi 1,5 m/km s obzirom na to da se radi o obnovi kolnika.

Kolnička konstrukcija ceste između građevoma na trasi sastoji se od najmanje dva asfaltna sloja, a na autocesti

uglavnom tri. Dva se sloja (obično cementom stabilizirani sloj CNS i bitumenizirano nosivi sloj BNS) ugrađuju elektronički vođenim finišerom po geodetski postavljenim visinama. Habajući se sloj ugrađuje asfaltnim finišerom prilagođenim na konstantnu debljinu sloja. Neravnosti različitih valnih duljina sa zaštitnoga (izravnavajućeg) sloja hidroizolacije u velikoj se mjeri prenose na površinu gornjeg sloja. Slivnici (vodolovna grla) zbog svojeg položaja i geodetskih visina također utječu na neravnost vozne površine, kao i poklopci okana za kontrolu odvodnje u tunelima i, vrlo često, uz rub kolnika postavljeni slivnici (vodolovna grla).

Ravnost vozne asfaltne površine cestovne infrastrukture (most, vijadukt i tunel) nije posebno propisana tehničkim uvjetima. Na tu ravnost utječe niz specifičnosti koje se opisuju u sljedećim točkama.

4.1 Ravnost nosivih betonskih ili čeličnih kolničkih ploča

Izvedene nosive kolničke ploče od betona ili čelika redovito su izrazito neravne. Odstupanja ustanovljena mjerenom letvom duljine 3 metra mogu biti i do 50 mm.

Tehnologije izvedbe nosive betonske ploče naguravanjem ili nastavljanjem putem pomicanja oplata, kod monolitnog izvođenja ili nekim drugim tehnologijama betoniranja tlačne ploče, nemaju troškovnički predviđenu stavku (pa se i ne izvode) završne obrade površine nosive kolničke ploče. Izvedene nosive ploče preuzimaju se geodetski na projektom određenim točkama s dopuštenim odstupanjima od ± 1 cm. Na to se mogu dodati pogreške metode geodetskog snimanja. Lokalne neravnine odnosno odstupanja u područjima radnih spojeva ili otvora u ploči (konstruktivnih ili za odvodnju) mogu varirati po nekoliko centimetara (primjer na slici 5.)



Slika 5. Nosiva betonska ploča (vijadukt «Zečeve drage» na autocesti Rijeka-Zagreb)

U praksi nerijetko jedan izvođač izvodi betonske radove, drugi polaže hidroizolacijske slojeve, a treći asfaltne radove. Isto se tako tehnološki nadzor također dijeli na pojedine vrste (faze) radova, što sve zajedno rezultira većim odstupanjima u ravnosti površine kolničke ploče.

Čelične kolničke ploče uglavnom su boljih ravnosti, ali u području zavara također su moguća odstupanja po nekoliko centimetara.

Navedeni razlozi loših ravnosti površine kolničke ploče izravno utječu na slabiju ravnost vozne površine asfaltnog zastora kolnika na građevinama cestovne infrastrukture.

Iz navedenih razloga ravnost površine nakon izvedene hidroizolacije i zaštitnog (točnije izravnavajućeg asfaltnog sloja) valjala bi kontrolirati mjerenjem (i izraziti u vrijednostima IRI) jednako kao i podlogu od nosivoga i/ili veznoga asfaltnog sloja na cesti ispred odnosno iza građevine cestovne infrastrukture.

4.2. Utjecaji debljine asfaltnih slojeva odnosno tipa asfaltne mješavine na ravnost vozne površine kolnika

U Hrvatskoj se prakticiraju projektna rješenja asfaltnog kolničkog zastora cestovne infrastrukture od tankoga zaštitnog sloja hidroizolacije asfaltom u debljini 3-4 cm i habajućeg asfaltnog sloja debljine 3,5-5 cm. Iz razloga opisanih visinskih odstupanja površina nosivih ploča, zaštitni asfaltni je sloj zapravo izravnavajući sloj mjestimična debljina kojega je dvostruko veća od projektirane debljine, što ima za posljedicu nehomogenu zbijenost sloja i reflektiranje neravnina s površine nosive kolničke ploče na površinu «izravnavajućeg» sloja (npr. vijadukt «Drežnik» na autocesti Zagreb-Rijeka).

Na milimetarske debljine temeljnoga i brtvenoga sloja hidroizolacije polaže se zaštitni (izravnavajući) asfaltni sloj hidroizolacije finišerom koji nije elektronički vođen zbog nemogućnosti postavljanja geodetski dotjeranih visina («žica»).

Utjecaj neravnosti nosive kolničke ploče na konačnu neravnost odnosno udobnost vožnje vozne površine građevina cestovne infrastrukture moguće je smanjiti polaganjem asfaltnih slojeva kolnika u punoj debljini, kao što se prakticira na prilazima (klinovima) građevinama ili na zastoru kolnika između građevina cestovne infrastrukture. Takva praksa izvedbe kolničkih zastora na građevinama cestovne infrastrukture u Austriji se pokazala pozitivnom. Indeks ravnosti vozne površine kolnika s takvim zastorom bio bi ujednačen duž ceste, a utjecaj krutosti nosive ploče na deformacije tijekom uporabe ceste bio bi manji. Cijena izvođenja asfaltnog zastora u punoj debljini kolnika na građevinama cestovne infrastrukture s vremenom uporabe ceste anulirala bi se i smanjenim izdacima održavanja ceste i manjim operativnim troškovima korisnika ceste. Takvo rješenje predlaže se za izvedbu idućih dionica autocesta u izgradnji.

4.3 Utjecaji geometrijskih elemenata ceste na ravnost – udobnost vožnje

Izvođenje asfaltnih slojeva na uzdužnim nagibima čije su vrijednosti veće od 4 %, kao i učestale promjene poprečnih nagiba odnosno vitoperenja, izravno utječu na lošije uporabne ravnosti vozne površine građevine cestovne infrastrukture. Podloga hidroizolaciji i asfaltnom zastoru, nosiva kolnička ploča od betona ili čelika, zbog zahtjevne geometrije često ima visinske, uzdužne i poprečne nepravilnosti.

Primjer 1. - Površinu betonske kolničke ploče na vijaduktu «Kamačnik» (monolitno izvođenje) bilo je potrebno u cijelosti visinski glodati-brusiti da bi se mogla polagati hidroizolacija. Valovi duljine nekoliko metara izravnani su asfaltnim slojevima (zaštitni-izravnavajući i habajući), ali početne nepravilnosti odrazile su se na konačnu ravnost vozne površine kolnika (slika 6.).

Primjer 2. - Dionica autoceste od Brezničkog Huma do Novog Marofa na autocesti Zagreb-Varaždin-Goričan prolazi obroncima Kalničkog gorja zbog čega je projektirana i izvedena sa zahtjevnim geometrijskim elementima što se protežu preko niza građevina. Vrijednosti indeksa ravnosti zastora na tim građevinama veće su nego na građevinama ostalih dionica iste autoceste.

Važno je istaknuti i otežano geodetsko vođenje finišera tijekom ugradnje asfalta zbog čestih promjena poprečnog nagiba. Isto tako otežano je i valjanje asfaltnog sloja, a što se onda odražava na visinsko odstupanje površine sloja zastora.



Slika 6. Vijaduk «Kamačnik» (variranje debljina zaštitnog sloja) na autocesti Rijeka-Zagreb

4.4 Prijelazne dilatacijske naprave, revizijska okna i slivnici

Na mostovima i vijaduktima raspona većeg od 30 metara dolazi do prekida kontinuiteta asfaltnog sloja jer se u voznu površinu kolnika ugrađuju prijelazne dilatacijske naprave od različitih materijala odnosno tipova.

U Hrvatskoj se pri izgradnji novih građevina najčešće ugrađuju metalne (KT) dilatacijske naprave. Ovaj tip

naprava ugrađuje se prije polaganja hidroizolacije odnosno asfaltnih slojeva. Ugradnja zaštitnoga asfaltnoga sloja uvjetovana je potrebom njezina početka odnosno završetka na samoj prijelaznoj napravi. Ako je naprava pod oštrim kutom u odnosu na uzdužnu os građevine, tada je strojna ugradnja znatno otežana. Stoga se ovaj problem često rješava izvedbom pasice širine 0,5-1,0 metra od lijevanog asfalta koji se ugrađuje ručno. Habajući sloj na građevini izvodi se u kontinuitetu s habajućim slojem same ceste prije građevine. Prijelazom asfaltnog finišera preko naprave (kod duljih građevina postoji nekoliko prijelaznih dilatacijskih naprava) remeti se kontinuitet ugradnje, a posljedica je lošija ravnost odnosno udobnost vožnje na tom odsječku. Samu plohu vozne površine potrebno je prilagoditi prethodno ugrađenoj napravi, što se najčešće doraduje ručno. Radi zaštite same metalne plohe naprave predviđa se milimetarsko (maks. 5 mm) nadvišenje površine asfalta. Prekid kontinuiteta na samoj napravi i asfaltna površina u okolnom području izravno utječu na ravnost, a pritom i udobnost vožnje.

Kod tipova dilatacijskih naprava (npr. «Polidil», slika 7.), koje se ugrađuju nakon izvedbe asfaltnih slojeva, važno je dobro ih uskladiti (iznivelirati) s već izvedenom asfaltnom površinom i tako smanjiti razliku indeksa neravnosti u odnosu na dio ceste ispred odnosno iza građevine. Isto tako važno je kvalitetno riješiti spoj dilatacijske naprave s hidroizolacijom kolničke ploče.

Predlaže se izvedba kontinuiranih prijelaza preko dilatacijskih otvora (predviđenih za pomake konstrukcije) kolničkih nosivih ploča (beton ili čelik) tzv. SILENT JOINT ispunama. Ovaj tip ispuna izvodi se na austrijskim (auto)cestovnim građevinama i to nakon izvedenih asfaltnih slojeva u kontinuitetu po debljini i tipu kao i na samoj cesti. U pripremljeni otvor iznad dilatacijske razdjelnice nosive ploče ugrađuje se gumena brtva, te sustav okvira i opruga koji se ispunjava mješavinom kamene sitneži i specijalnoga visokopolimeriziranoga bitumenskog veziva. Bešumni prijelaz ove vrste trebao bi osigurati istu razinu ravnosti na cijeloj dionici ceste.



Slika 7. Nadvožnjak u čvoru Gornja Ploča na autocesti Zagreb-Split (prijelazna dilatacijska naprava ugrađena nakon završetka asfaltnih radova)

Problem postizanja ravnosti u tunelima i većini gradskih cesta jesu prethodno postavljena revizijska okna odnosno slivnici odvodnje. Pri izvođenju asfaltnih slojeva okna su mjesta na kojima je strojna ugradnja otežana, pa je umanjena mogućnost postizanje propisanih ravnosti vozne površine ceste. Naknadna ugradnja okvira revizijskog okna u izvedeni asfaltni kolnički zastor pridonijela bi poboljšanju ravnosti - udobnosti vožnje u tunelima odnosno na gradskim cestama.

5 Vrijednosti međunarodnog indeksa ravnosti IRI voznih površina izvedenih na građevinama autocesta u Hrvatskoj

Utvrđivanje ravnosti voznih površina kolnika izvedenih dionica autoceste prije tehničkog pregleda obaveza su investitorsko-nadzorne službe. Izmjerene vrijednosti indeksa ravnosti IRI znatno odstupaju na građevinama cestovne infrastrukture od onih na trasi ceste. U sklopu cjelovitog spoznavanja problematike postignutih lošijih ravnosti - udobnosti vožnje na pojedinim dionicama, posebno su izdvojene vrijednosti ravnosti kolnika vijadukata, mostova i tunela.

Zbog konfiguracije terena kojim prolazi trasa autoceste na dionici Breznički Hum - Novi Marof postoji niz vijadukata. Osim prijelaznih dilatacijskih naprava na upornjacima vijadukata projektirane su i izvedene i naprave na svakoj građevini, na razmacima od stotinjak metara. Ugrađene su metalne (KT) prijelazne naprave, i to prije polaganja asfaltnih slojeva, pa je izvedba zaštitnoga (izravnavajućeg) i završnoga asfaltnog sloja bila otežana odnosno isprekidana. Niveleta vozne površine kolnika na građevinama u izrazitim je vertikalnim i horizontalnim zaobljenjima, dok su uzdužni padovi i usponi veći od 4%. Također su česta vitoperenja kolnika odnosno promjene poprečnih padova, što sve zajedno ima za posljednicu nisku udobnost vožnje, odnosno visoke vrijednosti neravnosti kolnika na građevinama.

Izmjerene prosječne ravnosti kreću se od prihvatljivih $IRI_{100} = 1,5$ m/km (vijadukt "Paka" - desni kolnik) do izrazito loše ravnosti $IRI_{100} = 3,2$ m/km (vijadukt "Moždeneć" - desni kolnik). Izmjereni su indeksi ravnosti svakako previsoki iz razloga što je u proračun ravnosti uključeno i mjerenje preko metalnih dilatacijskih naprava.

Izvedbom završnog sloja jednim finišerom u punoj širini kolnika s fiksnom "peglom" (10,7 metara) na dijelu ceste između građevina postižu se bolje ravnosti, a izbjegnuto je i uzdužni spoj. Nasuprot tome, na građevini je otežan prijelaz velikog finišera preko metalne prijelazne dilatacijske naprave. Osim toga, manevriranje gusjenicama finišera fiksnom "peglom" na horizontalnim zaobljenjima nivelete uzrokuje lošiju ravnost vozne površine kolnika.

Na dionici autoceste Novi Marof-Varaždin izmjerene ravnosti zastora na građevinama nakon puštanja u promet slične su prethodnim dionicama autoceste i kreću se prosječno $IRI_{100} = 2$ m/km. Na ovoj dionici manji je broj građevina a geometrijski elementi (vertikalna i horizontalna zaobljenja, uzdužni i poprečni nagibi) bitno su povoljniji, pa je i ukupni dojam o udobnosti vožnje prihvatljiv.

Na voznim površinama vijadukata i tunela na dionici poluautoceste Bosiljevo - Vrbovsko izmjerene su bolje ravnosti: od $IRI_{100} = 1,36$ m/km (vijadukt "Zečeve drage") do $IRI_{100} = 1,86$ m/km (vijadukt «Hambarište»). Trasa dionice također prolazi kroz brdovit teren, ali su građevine na većem razmaku. Duljine pojedinih građevina su veće, ali i razmak metalnih dilatacijskih naprava je više stotina metara. Vijadukt "Zečeve drage" dug je približno 1000 metara i ima prijelazne naprave samo na upornjacima.

Asfaltni slojevi na zastoru građevina izvedeni su pred samo puštanje (polu)autoceste u prometovanje. Zbog dinamike završetka radova uvjeti asfaltiranja nisu bili najpovoljniji (granične temperature zraka i asfaltne mješavine). Sve je navedeno utjecalo na postignuti indeks ravnosti.

Ravnosti asfaltnih voznih površina zastora kolnika građevina na dionici autoceste Ličko Lešće - Lički Osik - Sveti Rok, Jadranske autoceste Zagreb - Split, izmjerene prije puštanja u promet, kreću se od vrlo dobrih $IRI_{100} = 0,73$ m/km u tunelu "GRIČ" - desni utječu na otežavajuće izvođenje ravnosti asfaltnih zastora kolnika na građevinama cestovne infrastrukture. Na ovoj dionici udio građevina je manji i geometrijski su elementi povoljniji pa je postignuta udobnost vožnje zadovoljavajuća.

Na zastoru dionice autoceste Pirovac - Šibenik, Jadranske autoceste Zagreb - Split izmjerene vrijednosti indeksa ravnosti kreću se od dobrih $IRI_{100} = 1,28$ m/km (most "Krka" - lijevi kolnik) do loših $IRI_{100} = 2,38$ m/km (most "Vlake" - lijevi kolnik). Iz ovih vrijednosti evidentno je da pojedine građevine sličnih projektnih elemenata imaju veliku razliku u ravnosti vozne asfaltne površine.

Sve to pokazuje da način izvođenja građevina i samih asfaltnih slojeva isto tako utječe na konačne vrijednosti indeksa ravnosti, odnosno na udobnost vožnje. Uvježbanost asfaltne ekipe, kvaliteta i brojnost mehanizacije, razina primijenjene tehnologije izravno se odražavaju na postignute vrijednosti indeksa ravnosti voznih površina kolnika.

Vrijednosti IRI-ja voznih površina građevina izmjerene su prije puštanja u promet ili nakon nekoliko mjeseci eksploatacije (polu)autoceste u sklopu kontrole kvalitete radova novoizvedenih dionica autoceste [11] i trebale su poslužiti za okončani obračun radova.

U tablici 2. prikazane vrijednosti IRI_{100} za navedene građevine mogu se smatrati reprezentativnima za postignuti indeks ravnosti novoizvedenih voznih površina asfaltnih kolnika na građevinama autocesta koje su izvedene u posljednje tri godine u Hrvatskoj.

Indeks ravnosti IRI kao pokazatelj uporabne razine neke autoceste potrebno je ciklički mjeriti te analizirati algoritam njegove promjene tijekom eksploatacije vozne površine kolnika. Tako ustanovljena vrijednost ravnosti može se iskoristiti u okviru plana gospodarenja kolnikom subjekata koji gospodare autocestom.

6 Zaključak

Na građevinama cestovne infrastrukture predlaže se izvođenje istih asfaltnih slojeva po tipu i debljini kao i na cesti između građevina. To je praksa u nekim europskim državama (npr. Austriji). Također se predlaže da se prijelazne naprave ugrađuju nakon izvedbe završnoga asfaltnog sloja. Odabrani tip naprave treba omogućiti što veći stupanj kontinuiranosti vozne površine radi postizanja udobnije vožnje preko samih mostova i vijadukata. Postizanjem ujednačene ravnosti duž ceste (čime se udobnost vožnje ne mijenja ulaskom, prolaskom, odnosno izlazom s građevine cestovne infrastrukture), postigao bi se i poželjan ugođaj putovanja.

Postojeći tehnički uvjeti (OTU/2001 i TUOA/2004 odnosno TUIO/2003 [12]) nemaju posebno definirane i propisane vrijednosti ravnosti (IRI) za kolnike na mostovima, vijaduktima i u tunelima. Iz analiziranih podataka izmjerenih vrijednosti ravnosti i argumenata koji su istaknuti, proizlazi da se ravnosti vozne površine kolnika na građevinama ne mogu postignuti na razini onih vrijednosti koje su uobičajene za ceste između građevina. Pro-

izlazi, dakle, da ravnosti ne mogu biti ocjenjivane, a slijedom toga niti iskorištene za obračun izvedenih radova. Potrebno je, na osnovi realnih, a to znači izmjerenih vrijednosti postignutih ravnosti voznih površina cestovnih građevina, propisati indekse ravnosti IRI koji su realno izvedivi, a različiti su od propisanih IRI za dijelove ceste između građevina. Isto tako treba razlikovati novogradnju od sanacije građevine (sanacija nosive kolničke ploče ili samo asfaltnih slojeva).

Na temelju rezultata mjerenja ravnosti voznih površina asfaltnih kolničkih zastora na objektima autocestovne infrastrukture (mostovi; vijadukti i tuneli), predlaže se, da se na građevinama propisana ravnost izrazi kao:

$$IRI_{OBJEKTA} = k \times IRI_{CESTE} \text{ (m/km)}.$$

Koeficijent ($1 \leq k \leq 2$) u funkciji je vrijednosti utjecajnih parametara kao što su:

- ravnost nosivih betonskih ili čeličnih kolničkih ploča građevina (podloge asfaltnom kolničkom zastoru)
- debljine i tipovi asfaltnih slojeva kolničkog zastora na građevinama prema onima koji su na ostalom dijelu cestovne infrastrukture
- geometrijski elementi ceste na građevini (uzdužni i poprečni nagibi odnosno vertikalna i horizontalna zakrivljenost)
- učestalost i tip prijelazne dilatacijske naprave mostova i vijadukata, revizijska okna i slivnici u tunelima
- dopuštena brzina vožnje preko građevina ceste.

Trenutačno su u izradi „Tehnički uvjeti za radove na autocestama“. Na temelju rezultata mjerenja i analiza opisanih u ovom radu, poželjno bi bilo razmotriti mogućnost uvođenja koeficijenta umanjenja vrijednosti indeksa ravnosti IRI za građevine cestovne infrastrukture.

LITERATURA

- [1] COST 354 Action: Performance Indicators for Road Pavements (WG2: Selection and Assessment of Individual Performance Indicators - Draft Final Report, Brussels, November 2006),
- [2] Sršen, M.: *Novi pristup poslovnom sustavu za održavanje građevina - Primjena HDM-4 modela u optimalnom održavanju i gospodarenju cestama*, Seminar o održavanju cesta, DGIZ, Zagreb, 2004.
- [3] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (OTU/89), Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1989.
- [4] AASHO test –American Association of State Highway Officials, Washington DC, 1978.
- [5] Sršen, M.: *Procjena kvalitete vožnje na asfaltnom kolniku Bump-integratorom*, II. jugoslavenski simpozij o bitumenu i asfaltu, Poreč, (1981.), str. 407.-418.
- [6] Šimun, M.; Grubić, N.: *IRI – mjera ravnosti kolnika i udobnosti vožnje*, Zbornik II. hrvatskog kongresa o cestama u Cavtatu (1999.).
- [7] ASTM E 1170-97, Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces, Annual Book of ASTM Standards, 1997.
- [8] Transportation Research Record, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, (2000) 1699, 107-113; 127-133
- [9] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 2001.
- [10] Tehnički uvjeti za asfaltnerske radove održavanja kolničkih konstrukcija autocesta, Hrvatske autoceste, Zagreb, 2004.
- [11] Izvještaji o kontrolnim ispitivanjima asfalta za predmetne dionice autocesta obavljenih u sklopu tehnološkog nadzora, IGH- Zavod za prometnice (2003.-2005.*).
- [12] Tehnički uvjeti za izvanredno održavanje državnih cesta, Hrvatske ceste, Zagreb, 2003.