

## УТИЦАЈ ГРЕШАКА ПРИ ПРОФИЛИСАЊУ КОЛОВОЗА НА ПРОРАЧУН IRI-A

Владан Илић, мастер инж. грађ.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, vilic@grf.bg.ac.rs

Стручни рад

**Резиме:** Индекс равности површине коловоза пута или International Roughness Index-IRI представља најзаступљенији параметар за оцену равности пута. IRI је заправо рачунски поступак за статистичку обраду података добијених мерењем подужног профила на површинском слоју коловоза дуж дефинисаног пресека. Пошто је софтвер за сам прорачун IRI-а већ одавно познат, и више пута кроз обимна истраживања на терену темељно верификован, нетачне вредности IRI-а најчешће су последица грешака при одређивању висина у мереним профилима дуж трагова точкова возила, односно профилисања коловоза. Грешке при профилисању пута проузроковане су највећим делом људским фактором, тј. погрешним или непрецизним руковањем са опремом за профилисање коловоза, затим недостацима или кваровима на коришћеној опреми и инструментима, као и специфичним карактеристикама површине коловоза на анализираним деоницама пута. У овом раду описани су основни узроци грешака при профилисању коловоза и њихове последице на тачност прорачуна IRI-а.

**Кључне речи:** IRI, профилометар, таласна дужина, равност, калибрација, подузорковање текстура, пукотине.

## THE INFLUENCE OF PAVEMENT PROFILING ERRORS ON IRI CALCULATION

Vladan Ilic, M.Sc. CE

Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, vilic@grf.bg.ac.rs

Professional paper

**Summary:** Pavement surface roughness index or International Road Roughness Index represents the most common parameter for road roughness assessing. IRI is actually a computational method for statistical processing of data obtained by measuring the longitudinal profile of the pavement surface layer along the defined section. Since the software for IRI calculation has been long known, and several times through extensive research experiments in the field thoroughly verified, incorrect values of IRI are usually caused by the errors in determining the height of the measured profiles along the vehicle tracks, or pavement profiling.

*Errors in the road profiling are mostly influenced by human factor, ie. incorrect or imprecise handling of pavement profiling equipment, then by flaws or failures linked to the equipment and instruments that were used for profiling, as well as by the specific surface characteristics of the pavement on analyzed road sections. In this paper the main causes of errors in the pavement profiling and their impact on accuracy of the calculation of IRI were described.*

**Key words:** IRI, profilometer, wavelength, roughness, calibration, aliasing, texture, cracks.

### 1. УВОД

Мерење равности пута и дефинисање заједничке методологије за обраду резултата профилисања коловоза привукло је пажњу професионалаца из области коловозних конструкција још током 40-их година прошлог века. У већем броју развијених земаља, а посебно у САД, акценат је стављен на удобност вожње као манифестацију равности пута која је најпрепознатљивија широком спектру корисника путне мреже. Пошто је мрежа путева и аутопутева у развијеним земљама и САД највећим делом завршена крајем 80-их година 20. века, приоритет је добило одржавање изграђене мреже на прихватљивом нивоу квалитета. У сваком софистицираном систему за управљање одржавањем путне мреже (Pavement Management System-PMS), мерење равности пута представља важан чинилац при доношењу одлука о радовима на мрежи у условима ограничених буџетских средстава намењених за одржавање постојећег или унапређење стања појединих деоница мреже. Оцена стања коловоза на основу мерења равности пута пуну афирмацију доживела је у земљама у развоју, а нарочито у Кенији [1], Индији [2] и Бразилу [3,4], где су спроведена истраживања указала на значајну повезаност између равности коловоза и оперативних трошкова употребе возила (гориво, уље, пнеуматици, трошкови за резервне делове и услуге редовног одржавања и амортизација возила). Главни циљ дефинисања IRI-а био је усвајање јединственог стандарда за мерење равности према којем се прилагођавају и скалирају сва друга мерења и индекси, како би информације о равности пута могле бити директно упоређиване.

### 2. IRI - ЈЕДИНСТВЕНИ ИНДЕКС РАВНОСТИ

Међународни експеримент којим је успостављен IRI, као и основне смернице за његов прорачун и калибрацију, одржан је током јуна, јула и августа 1982. год. у Бразилији, у Бразилу [5].

Експеримент су организовали истраживачки тимови из Бразила, Енглеске, Француске, САД-а и Белгије под супервизијом и уз финансијску подршку Светске банке - World Bank (WB). Мерења су извршена на 49 деоница помоћу разноврсне опреме и при различитим условима. Анализирани деонице покриле су широки спектар коловозних површина са различитим нивоима равности, па су тако мерења вршена на асфалтираним деоницама, затим деоницама са површинском обрадом, шљунчаним застором и на обичним земљаним путевима. Сва мерења су вршена током сушне сезоне у летњим месецима, а за деонице без коловозног застора биране су оне на којима је било врло мало саобраћајно оптерећење.

### 2.1. Инструменти за мерење профила коловоза при извођења IRI експеримента

Опрема коришћена за IRI експеримент груписана је према карактеристикама и начину обраде излазних података у две категорије:

- Прву категорију чине профилометријски инструменти тј. два брза динамичка профилометра APL 25 и APL 72, као и две статистичке методе мерења профила помоћу Летве и равњаче, и померајуће хоризонталне греде - TRRL Beam [5];
- Другој категорији припадају инструменти за мерење величине реакције, односно, побуде проузроковане неравнинама на коловозу, или на енгл. Response Type Road Roughness Measuring Systems - RTRRMSs. Коришћена су четири различита типа ових система: Opala-Maysmeter System, Bump Integrator Trailer, NAASRA Roughness Meter и Soiltests BPR Roughometer [5]. Сви RTRRMS мерни системи опремљени су са "roadmeter" уређајима, који генеришу мерне податке о равности коловоза на основу акумулације кретања огибљења возила током његовог преласка преко посматране деонице пута. Укупно је седам система овог типа суделовало у IRI експерименту, укључујући пет мерних система састављених од "roadmeter" уређаја инсталираних у обична путничка возила, и два система где су "roadmeter" уређаји уграђени на независне прикључне јединице тј. помоћне приколице.

### 2.2. Основни циљеви IRI експеримента

Пре формалног дефинисања IRI индекса интензивна размена и поређење података о стању равности коловоза били су знатно отежани и често су подразумевали употребу комплексних и непрецизних регресионих једначина које су се могле применити само под одређеним условима. Како би се отклонили наведени проблеми

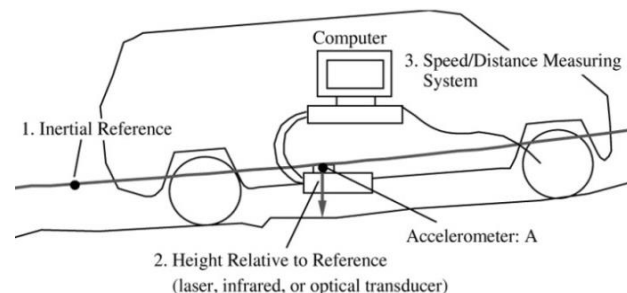
изабрани јединствени индекс, као стандард за мерење равности, морао је да буде:

- стабилан у времену;
- преносив, односно, да се може мерити са опремом која је доступна у већини земаља, укључујући и земље у развоју са слабијом техничком опремљеношћу;
- валидан или поновљив, што подразумева да се може поново измерити помоћу опреме из свих делова света и то без пристрасности излазних резултата на свим типовима коловозних површина;
- релевантан као индикатор стања посматране деонице пута са аспекта трошкова корисника, удобности и сигурности вожње.

IRI-а се најчешће рачуна на основу мерених података са једног анализираних профила, који су после два пута "филтрирани" и акумулирани, да би се на крају поделили са дужином тог истог профила. Детаљан опис рачунског поступка и компјутерског програма за прорачун IRI-а дат је у Техничком листу Светске банке бр. 46 [6] као и у раду M. W. Sayers-а [7].

### 2.3. Савремени системи за мерење профила коловоза и прорачун IRI-а

Скоро сви системи за профилисање коловоза који се данас користе у свету су дигитални. Веома су распрострањени, а посебно у САД, и инерцијални системи за мерење профила (Слика 1) код којих софтвер за процесирање података претвара измерену вредност вертикалног убрзања у инерцијалну референцу која тренутно одређује висину акцелерометра уграђеног у носеће возило. Према томе, висина референце у односу на коловоз је растојање између акцелерометра у возилу и површине коловоза директно испод акцелерометра. Ово растојање се мери са безконтактним сензором као што је ласерски конвертер. Подужно растојање комплетног система инструмената константно се прати на основу података са брзиномера возила, а у новије време и додатно контролише помоћу ГПС уређаја.



Слика 1. Мерни систем за инерцијално мерење профила (Извор: [8])

Најефикаснији систем за брзо мерење равности пута који је данас доступан на тржишту назива се Automatic Road Analyzer-ARAN. Овај лагани и преносив мерни систем састоји се од мерне греде, монтиране на предњи браник возила (Слика 2), на којој се налази 7 до 9 сензора који региструју не само параметре равности, већ и површинске карактеристике коловоза као што су текстура, углачаност агрегата и појаву колотрага.



Слика 2. Automatic Road Analyzer-ARAN (Извор: [9])

### 3. ОСНОВНИ ИЗВОРИ ГРЕШАКА ПРИ ПРОФИЛИСАЊУ КОЛОВОЗА

Нетачне вредности добијеног IRI индекса најчешће су последица грешака при мерењу профила коловоза. Узроци ових грешака су:

- 1) људски фактор, односно, корисник који рукује мерним инструментима;
- 2) недостатци или кварови на мерној опреми;
- 3) карактеристике пута, односно, коловозне површине на којој се обављају мерења.

Главни извор варијабилности при мерењу профила јесте што је сваки пут различита линија ,тј. пресек, на површини коловоза профилисан. Код статичких метода профилисања линија дуж које се врше мерења означава се физички, па је могућност да се направи грешка мања. Међутим, код инерцијалних метода мерења профила, варијације при избору исте мерне линије/пресека на коловозу обично су веће у односу на друге системе који се користе.

Предпостављајући да се возило са мерном опремом вози увек дуже возне траке која је паралелна осовини коловоза, положај линије дуж које се врши узимање узорака профила зависи од почетног лонгитудиналног положаја и бочне позиције мерног сензора. При брзини од 100 km/h мерно возило прелази скоро 28 метара сваке секунде, а људска реакција може најкраће да

траје неколико десетина секунди што одговара дужини од 5-8m. Додатне грешке се јављају и при активирању самог сензора, јер могу настати тзв. временске "празнине" услед специфичног дизајна електронске опреме и софтвера који контролише читав систем током поступка тестирања. У претходним тестовима и експериментима, где су мерне линије маркиране са бојом на површини коловоза, а мерна возила коришћена од стране искусних тимова састављених од возача и специјално обучених техничара, уочене су грешке при дефинисању почетног положаја реда величине 30-60 метара. Иако су данас употребом ГПС уређаја ове грешке сведене на минимум, чак и најискуснијим тимовима дешавају се почетне грешке од 5-10m. Најсавременији уређаји, као што је ARAN [9], редукују "осетљивост" добијених резултата према почетном положају мерења, зато што је са њима могуће започети мерење означеног профила у било ком положају сензора.

Да би се обавила валидна мерења профила коловоза и добиле поуздане вредности IRI-a сви делови мерног система морају правилно функционисати: акцелерометар, сензори за мерење висине, брзиномери, компоненте за напајање, уређаји за пренос електронских сигнала, конвертери аналогних у дигиталне сигнале и инсталирана компјутерска опрема. Свака од ових компоненти може бити потенцијални узрочник неке грешке при мерењу и рачунању IRI индекса.

#### 3.1. Утицај избора подужног трага точкава и возних трака на прорачун IRI индекса

Линија дуж које се мери профил обично је лоцирана директно испод инсталираног сензора. Код већине метода за мерење профила та линија се поклапа са подужним трагом точкава возила. Иако не постоје стриктна правила где мора бити попречно лоциран анализирани профил и колико профила је заправо довољно измерити, генерална препорука је да профили требају бити измерени дуж оба трага точкава у возној траци и за сваки од њих посебно срачунате вредности IRI-a, како би се оне касније упросечиле на нивоу посматране возне траке. На основу истраживања спроведених у САД [10], 50% агенција за саобраћајну инфраструктуру у Америчким савезним државама поштује ову препоруку, 29% државних транспортних агенција врши мерења профила само на основу профила из десног трага точкава, док 10% агенција користи измерене податке само из левог трага. Према истраживању Rogers-а [11] и обављеним мерењима у Тексасу у САД, срачунате вредности IRI-a значајно варирају између профила мерених дуж два различита трага. У већини случајева,

вредности IRI-а добијене из мерења дуж десног или спољашњег трага точкава, биле су приметне веће. Ово се, такође, односи и на аутопутну мрежу, где се највеће неравнине увек јављају на спољашњој или крајњој десној траци дуж десног трага точкава, јер ове траке по правилу највише користе тешка теретна возила.

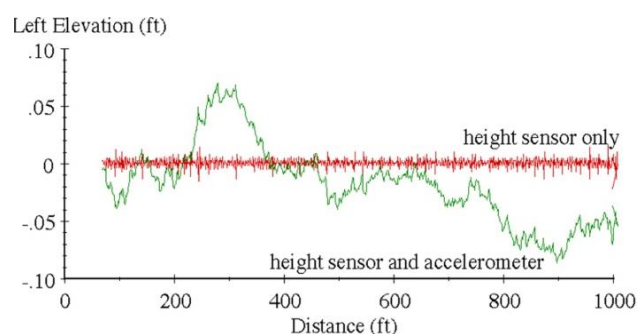
Захваљујући модерној технологији и развоју ласерских, оптичких и ултразвучних сензора попречни положај тестног возила у односу на осовину коловоза више није тако битан, јер сензори поседују могућност да сниме цели попречни пресек пута на површини од једне до друге ивице коловозног застора. На тај начин возач може да заборави на мерења и обавезу одржавања попречног положаја, односно, може слободно да мења возне траке и вози као и сви остали возачи у саобраћајном току. Наравно, број прикупљених података је огроман, али је и њихова селекција и филтрирање коришћењем брзих процесорских јединица далеко ефикасније. Осим тога, возач који је растерећен може боље да се концентрише и прати кретање осталих возила, чиме смањује потенцијалну опасност за настанак саобраћајне незгоде.

### 3.2. Грешке услед отказа неке од компоненти мерног система за мерење профила

Чест узрок лошег функционисања мерног система за профилисање коловоза јесте квар или потпуни отказ неке од компоненти тог система. На пример, због сложености инерцијалних система за мерење профила, понекад се може чинити да су добијени резултати коректни иако је неки од виталних елеманата система отказао. На основу вертикалног положаја акцелерометра и вредности сигнала које читава сензор за мерење висина добијају се релевантни подаци за генерисање профила. Такође, ове компоненте обезбеђују информације на основу којих се елиминише ефекат "поскакивања" возила. Ако се неки од сензора поквари или престане да ради, губе се измерене вредности висине профила на тим сензорима, чиме се јавља тенденција ка смањењу укупно срачунатих величина равности коловоза. Међутим, због раније евидентираних померања услед поскакивања возила, која су требала бити искључена, поменути ефекат тежи да додатно повећа добијене величине равности.

Искусни инжењери могу гледајући у дијаграме са нацртаним профилима препознати да ли је акцелерометар или сензор за мерење висине отказао. Ако акцелерометар не функционише, варијације профила пре филтровања биће много више ограничене него што је нормално, у интервалу реда величине само једног инча. На **Слици 3** дато је поређење измерених

вредности профила са вредностима добијеним само на основу рада сензора за мерење висина. Вредност IRI-а, срачуната само процесирањем сигнала за мерење висина, износи 97in/mi, док вредност IRI-а која је добијена из реалног профила износи 140in/mi. Премда се упоређене величине IRI-а веома разликују, конкретна вредност IRI-а добијена на основу обраде сигнала из сензора за мерење висина се налази у очекиваном интервалу, и највероватније неће изазвати никакве сумње када буде унета у базу мерних података. Без анализе дијаграма мереног профила, оваква грешка може да се неприметно провуче. С друге стране, ако сензор за мерење висина не ради, добијени профил ће бити много уједначенији, а на његовом дијаграму се неће уочавати никакве оштре варијације.



**Слика 3.** Изглед мереног профила коловоза са укљученим акцелерометром и без њега (Извор: [12])

Од свих саставних делова инерцијалних система за мерење профила, сензор за мерење висине је најмање поуздан у отежаним радним условима. Ласерски и оптички сензори требају се редовно контролисати, како би се осигурало да сочива не буду прекривена наслагама прашине или блата, које би спречавале континуалну визуелну перцепцију пројектоване слике на површини коловоза.

Прашина, блато и повећана влажност негативно утичу и на прецизност ултразвучних сензора. Без одговарајућих заштитних баријера, ови сензори су изложени утицају фактора који мењају време потребно да се емитовани звук рефлектује од површине коловоза и стигне назад до пријемника на возилу. Такође, под дејством ветра мења се притисак ваздуха као и брзина звука. Неповољан утицај на резултате мерења има и спољашња бука која може привремено "збунити" сензоре. Иако су ултразвучни сензори вишеструко јефтинији од ласерских и оптичких, њихова примена је у последње време због ограничене тачности све мања, а нарочито за мерење равности на коловозним површинама са израженом текстуром.

### 3.3. Промена оригиналног профила коловоза током времена

Првобитно измерени или оригинални профил коловоза се мења током времена. Ово је нарочито изражено код крутих коловозних конструкција, где бетонске коловозне плоче и током дана мењају своје димензије услед дневних температурних осцилација, односно, загревања и хлађења. Када се горња зона плоче загреје, доња зона се скоро неприметно скупи, и јављају се периодични угиби плоче, који могу довести до промене вредности индекса IRI чак и до 20%.

Поред дневних временских осцилација, и сезонске временске промене могу да утичу на анализирани профил. Сезонске промене највише погађају мерења која се обављају на земљаним и макадамским путевима, јер влажност у доњем строју пута варира, што наравно утиче на величину деформација које настају на површини ових деоница најнижег ранга.

## 4. УТИЦАЈ БРЗИНЕ КРЕТАЊА МЕРНОГ ВОЗИЛА НА ТАЧНОСТ ПРОРАЧУНА IRI-a

У прошлости је већина метода за мерење профила, изузимајући наравно статичке, скоро увек захтевала тачно одређену брзину кретања мерног возила. На пример, приликом извођења IRI експеримента захтевало се да брзина RTRRMS система на свим деоницама са асфалтним коловозним застором буде 80km/h. Ова ограничења су постајала пре свега због конструкције самих профилометара и других елемената мерног система, као и због сврхе њихове употребе, односно, начина обраде мерених података који су они сакупили.

Системи који су данас у употреби немају стриктна ограничења у погледу брзине кретања мерног возила током извођења експеримента. Међутим, одређена ограничења, пре свега везана за одређени тип сензора и посебне захтеве прорачуна IRI индекса ипак постоје. Овде се у првом реду мисли на распон таласних дужина које може да филтрира "Quarter-car" филтер у компјутерском програму за прорачун IRI-a. Као што је познато из [6] таласне дужине синусоида којима су представљене измерене вредности профила коловоза, а које препознаје IRI алгоритам, налазе се у интервалу од 1,2-30m. При већим брзинама системи за мерење профила најтачније региструју сигнале са већим таласним дужинама, што може после филтрирања сакупљених података о профилу, довести до одређеног смањења тачности израчунавог IRI индекса. Овај проблем се чешће

јавља код инерцијалних система за мерење профила услед захтева за одржавањем константне вредности инерцијалне референце и перформанси инсталираног акцелерометра. Такође, у циљу елиминисања тзв. ефекта "нежељеног шума" електронског сигнала, који утиче на интензитет сигнала емитованих са акцелерометра, препоручује се да најмања брзина кретања инерцијалних система за потребе прорачуна IRI-a буде 25 km/h [8].

Иако већина савремених инерцијалних система за мерење равности није осетљива на промене брзине кретања у току извођења мерења, приликом кочења или наглог убрзања ипак се јављају мале грешке при мерењу. Грешке су обично последица појаве већих лонгитудиналних убрзања у односу на граничне вредности које толирише софтвер за филтрирање сигнала. Такође, при нагом убрзању јављају се и веће вредности нормалног трзаја, па главна оса акцелерометра привремено одступа од идеалног вертикалног положаја, чиме се нарушава тачност инерцијалне референце.

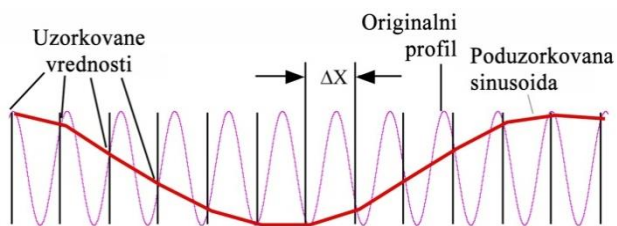
Већа брзина кретања при мерењу профила захтева и већу учесталост прикупљања података о профилу коловоза који се читавају помоћу различитих сензора. Другим речима, временски интервал читавања висина профила или фреквенција регистровања измерених вредности пропорционални су брзини кретања мерног возила. Брзина прикупљања података код ултразвучних сензора ограничена је трајањем одјека или тзв. еха рефлектованог звучног сигнала, и у мањој мери брзином звука у ваздуху. Тако нпр. при брзини од 100km/h, код већине система са ултразвучним сензорима, интервал читавања звучних сигнала за мерење профила на коловозима са асфалтним застором није мањи од 300mm [8].

## 5. УТИЦАЈ ТЕКСТУРЕ ПОВРШИНЕ КОЛОВОЗА НА МЕРЕЊЕ ПРОФИЛА

На основу великог броја досадашњих тестирања утврђено је да на коловозним површинама отворене текстуре, као што су површинске обраде и различите врсте асфалта са изложеним крупним зрнима агрегата на површини хабајућег слоја, постоје озбиљни проблеми са мерењем профила, односно, одређивањем IRI индекса. Изражена макротекстура узрокује варијације профила коловоза на кратким дужинама које подразумевају таласне дужине реда величине од неколико инча или мање. Ове таласне дужине су најчешће ван дефинисаног опсега за већину анализа које се спроводе на подацима добијеним

мерењем профила, али оне непосредно утичу на перформансе појединих инструмената и сензора.

Макротекстура може да изазове и ефекат недовољног узорковања оригиналног профила, или тзв. ефекат "подузорковања назупчене синусоиде". На **Слици 4** се види да су вертикалним линијама означени пресеци где је профил узоркован и да регистрована синусоида мале таласне дужине приказује оригинални профил коловоза који је узоркован. Пресечне тачке вертикалних линија и синусоиде у ствари представљају узорковане вредности.



**Слика 4.** Ефекат "подузорковања назупчене синусоиде" (Извор: [8])

Како би "филтер" у софтверу за прорачун IRI-а могао да препозна да се ради о сигналу облика синусоиде, интервал узорковања профила мора бити мањи или једнак половини таласне дужине те исте синусоиде [8]. Пример са **Слике 4** показује шта се дешава када је интервал узорковања превелик. Може се приметити да се, када се узорковане вредности споје са правим линијама, добија нова синусоида са много већом таласном дужином. Негативан утицај описаног ефекта нарочито долази до изражаја када систем за мерење профила нема никакав одзив на синусоиде кратких таласних дужина, које представљају оригинални профил. Главни проблем је што се може десити да исти мерни систем региструје "подузорковану синусоиду" веће таласне дужине. С обзиром да таква синусоида реално не одражава оригинални профил, јасно је шта је проузроковало грешке при прорачуну IRI-а.

Сензори који читавају висине мереног профила помоћу ласерских зрака могу бити калибрисани тако да емитују излазне сигнале врло велике фреквенције, чиме се може значајно смањити подузорковање. Као што је познато, ултразвучни сензори раде тако што емитују кратке звучне сигнале и примају рефлектоване одзивне или ехо сигнале. Време између емитовања излазног и регистрације одбијеног сигнала пропорционално је мереним висинама профила. Ова метода мерења даје погрешне резултате ако површина коловоза добро не рефлектује звучне сигнале, или ако долази до вишеструке рефлексије, односно појаве вишеструког ехо сигнала, што

делује збуњујуће на пријемне сензоре. Резултати многих истраживања спроведених у последњих 10 година увек су изнова показали да системи за мерење профила са ултразвучним сензорима не могу да обезбеде довољно тачне вредности измерених профила на коловозним површинама изражене макротекстуре. Такође, и системи са ласерским и оптичким сензорима имају проблеме са мерењем профила на коловозима сличних карактеристика, јер пројектовану помоћну слику на површини коловоза, због грубе текстуре, не могу јасно детектовати претварачи сигнала.

## 6. УТИЦАЈ ПУКОТИНА НА ПОВРШНИ КОЛОВОЗА НА ПРОРАЧУН IRI-а

Улегнућа или испупчења коловоза доминантно утичу на осећај удобности у вожњи код корисника анализираних деонице пута, за разлику од пукотина које корисници често уопште не региструју. Систем за мерење профила који детектује само неравнине може да пружи тачније вредности срачунатог IRI-а, за разлику од система који региструје и пукотине и код кога постоје два извора грешака. Први се односи на чињеницу да повећане вредности IRI-а због урачунатих пукотина нису препознате од стране корисника. Други извор грешака се објашњава тиме да врло тешко могу да се добију исте вредности IRI-а приликом поновљених мерења. Иако мерни систем може да детектује исте пукотине у поновљеним мерењима, дубина регистрованих пукотина зависи од многих фактора, укључујући количину прљавштине у пукотинама и прецизан попречни положај ласерских сензора приликом детектовања пукотине. На пример, у једном пролазу дубина пукотина може бити 5mm, а у наредном пролазу иста пукотина може да буде детектована са дужином од 50mm.

За решавање проблема евидентирања пукотина, односно, рационалне филтрације измерених података о профилу на коловозу са пукотинама, препоручује се употреба посебних алгоритама за детекцију пукотина у реалном времену. Већина ових алгоритама ради по принципу, да када ласерски зрак наиђе на пукотину, висина профила остане непромењена, тј. алгоритам задржава претходно измерену висину профила приликом преласка ласера преко пукотине.

## 7. ЗАКЉУЧАК

Нетачне вредности IRI-a највећим делом су последица грешака и пропуста приликом мерења профила коловоза. Коришћењем модерне опреме, не само за директно мерење висина у профилу него и за касније филтрирање и обраду података, утицај људког фактора на величину ових грешака сведен је на минимум. Међутим, још увек се у зависности од специфичних површинских карактеристика појединих коловозних застора јављају проблеми са филтрирањем измерених података. Присуство пукотина на коловозу додатно отежава даљу обраду података о профилу, и најчешће захтева примену посебних софтвера за накнадну селекцију мерених вредности пре њихове даље употребе за прорачун IRI-a. Поузданост и правилно функционисање сваке од компонената система за мерење профила значајно утичу на тачност добијених резултата.

IRI је међународно верификован индекс за оцену стања равности пута и као такав општеприхваћен у највећем броју земаља као један од индикатора стања коловозне конструкције пута. Све јавне институције, које управљају одржавањем путне мреже на нивоу државе и доносе важне одлуке о оптималним стратегијама за одржавање и даље унапређење квалитета мреже, треба да користе резултате мерења IRI-a као један од параметара за расподелу ограничених средстава намењених развоју путне инфраструктуре. Због тога је врло важно имати прецизне податке о равности пута, како би се избегло доношење нерационалних одлука и инвестирање новца у деонице мреже рангиране по погрешно усвојеним приоритетима. Иако је данас цена мерења профила коловоза по километру дужине пута вишеструко мања у односу на време када је званично усвојен IRI концепт, улагање додатних средстава за набавку најмодерније опреме за што прецизнији прорачун IRI индекса свакако представља дугорочно исплативу инвестицију.

## Литература

- [1] Abaynayaka, S.W., Hide, H., Morosiuk, G., and Robinson, R. (1976). Tables for Estimating Vehicle Operating Costs on Rural Road in Developing Countries, Transportation and Road Research Laboratory, Rept. No. 723.
- [2] Road User Cost Study in India (1978). Reports published quarterly, Central Road Research Institute, New Delhi, India.
- [3] Visser, A. and Queiroz, C.V. (1979) Roughness Measurement Systems. Working Document No. 10, Research on the Interrelationships between Costs of Highway Construction, Maintenance, and Utilization, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), Brasilia, Brazil.
- [4] Queiroz, C.V. (1979) A Procedure for Obtaining a Stable Roughness Scale from Rod and Level Profiles. Working Document No. 22, Research on the Interrelationships between Costs of Highway Construction, Maintenance, and Utilization, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), Brasilia, Brazil.
- [5] Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Queiroz, C.V. (1986) The International Road Roughness Experiment - Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements. World Bank Technical Paper Number 45, pp. 1-23.
- [6] Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Paterson, W.D. (1986) Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper Number 46, pp. 19-43.
- [7] Sayers, M.W. (1995) On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1501, National Academies, Washington, D.C., pp. 1-12.
- [8] Sayers, M.W. and Karamihias S.M. (1998) The Little Book of Profiling. (on-line) Доступно преко: <http://www.umtri.umich.edu/erd/roughness/index.html> (19.05.2014)
- [9] Fugro - Infrastructure Asset Management Solutions. (2014) Доступно преко: [http://www.roadware.com/products/survey\\_equipment/aran\\_9000/](http://www.roadware.com/products/survey_equipment/aran_9000/) (13.06.2014)
- [10] TRDF. (1994) A Summary of Pavement Performance Data Collection and Processing Methods Used by State DOTs. Report FHWA-RD-96-060.
- [11] Rogers, R.B., Wyatt, J.M. and Bertrand, C.B. (1991) A State's concerns with the FHWA's Highway Performance Monitoring System Roughness Requirements. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1311, National Research Council, Washington, D.C., pp. 7-8.
- [12] Sayers, M.W. and Karamihias, S.M. (1996) Interpretation of Road Roughness Profile Data. Final Report FHWA-DTFH-61-92-C00143.