

# Ravnost cestovnih kolnika

---

**Rigo, Luka**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:910492>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Luka Rigo**

**Ravnost cestovnih kolnika**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2020. godina**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Specijalistički diplomski stručni studij**  
**Gospodarenje kolnicima**

**Luka Rigo**

**0114022369**

**Ravnost cestovnih kolnika**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2020. godina**

Naziv studija: **Specijalistički diplomski stručni studij**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Prometnice

Tema diplomskog rada

## **RAVNOST CESTOVNIH KOLNIKA**

### **ROAD PAVEMENT EVENNESS**

Kandidat: **LUKA RIGO**

Kolegij: **GOSPODARENJE KOLNICIMA**

Diplomski rad broj: **SPEC-2020-04**

#### **Zadatak:**

U diplomskom radu je potrebno analizirati način provjere ravnosti cestovnih kolnika. U radu je potrebno dati pregled parametara koji utječu na ravnost asfaltnih kolnika, moguće načine mjerenja i raspoložive tehnologije te analizirati utjecajne parametre koji utječu na promjenu ravnosti.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.

**Mentorica:**

Marijana Cuculić, v. pred.

## **IZJAVA**

Diplomski rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Luka Rigo

U Rijeci, 9. rujna 2020.

---

## ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici Marijana Cuculić dipl.ing.građ na nesebičnoj pomoći te konstruktivnim kritikama i savjetima oko izrade i završetka ovog rada.

Posebno se zahvaljujem mojoj curi Indi i obitelji na pruženoj prilici, podršci i puno strpljenja oko mojeg atipičnog studentskog puta koji se malo odužio zbog svima poznatih razloga. 😊

## **Sažetak;**

Kroz ovaj rad biti će obrađena tema ravnosti kolnika, s čime se izražava i kako se mjeri.

Uvodno je općenito o kolniku, njegovim svojstvima i vrstama te problemima koji se javljaju zbog krivih procjena pri projektiranju i eksplantaciji kolnika. Sljedeće poglavlje obrađuje samo teoriju Gospodarenje kolnicima kao koncepta s kojim se dobije najbolje moguće gospodarenje za uloženi novac dok omogućuje neometano korištenje kolnika za prometovanje, kako se provodi te funkcionalna i strukturalna svojstva kolnika od kojih u nastavku rada detaljnije rad obrađuje parametar „Ravnosti kolnika“.

Ravnost kolnika kao indikator najčešće odstupanja izvedene kolničke konstrukcije i površine od projektom predviđene ili krive procjene i spektra prometnog opterećenja utječe na ugodnost vožnje i najbitnije na sigurnost u vožnji. Razni faktori su navedeni i opisani a utječu na ravnost kolnika koja se izražava indeksom ravnosti IRI , međunarodni model za utvrđivanje ravnosti nekog kolnika, jedinstveni pokazatelj vozačeve percepcije ravnosti neke ceste. Za proračun IRI-a koristi se standardizirani matematički modela četvrtine putničkog vozila.

Za direktno mjerenje na licu mjesta bez izračuna navedeno je i opisano više uređaja i alata koji se razlikuju po svojoj složenosti i tehnologiji a na kraju i u rezultatima koji daju.

## **Ključne riječi:**

Ravnost kolnika, Međunarodni indeks ravnosti, IRI, svojstva kolnika, gospodarenje kolnicima, mjerenje ravnosti,

## **Abstract:**

Through this paper, the topic of roughness of the pavement will be presented, with which it is expressed and how it is measured.

It is introductory in general about the pavement, its properties and types, and the problems that arise due to incorrect assessments in the design and explanation of the pavement. The next chapter deals only with the theory of pavement management as a concept that provides the best possible management for the money invested while enabling the use of pavements without cancells for traffic, how it is implemented and functional and structural properties of pavements.

The roughness of the pavement as an indicator of the most common deviation of the constructed pavement structure and surface from the projected or wrong estimate and the traffic load spectrum affects driving comfort and most importantly driving safety. Various factors are listed and described and affect on the roughness of the pavement, which is expressed by the IRI roughness index, an international model for determining the roughness of a road, a unique indicator of the driver's perception of the roughness of a road. A standardized mathematical model of a quarter passenger car is used to calculate the IRI.

Measurement of pavement roughness can be performed with several devices and tools and they differ in their complexity and technology and ultimately in the results they give.

## **Keywords:**

Pavement roughness, International roughness index, IRI, pavement properties, pavement management.



# SADRŽAJ

POPIS OZNAKA I KRATICA.....	1
POPIS SLIKA.....	2
1. UVOD.....	3
2. KOLNIK.....	4
2.1. KOLNIČKA KONSTRUKCIJA.....	7
2.1.1. Utjecaju na trajnost kolničke konstrukcije.....	8
2.1.2. Utjecaji na izbor završnog sloja kolničke konstrukcije .....	18
2.2. VRSTE KOLNIKA .....	20
2.2.1. Kruti betonski kolnici .....	21
2.2.2. Savitljivi asfaltni kolnici .....	23
3. GOSPODARENJE KOLNICIMA .....	25
3.1. Svojstva kolnika .....	26
3.1.1. Strukturalno svojstva kolnika .....	26
3.1.2. Funkcionalna svojstva kolnika.....	26
4. RAVNOST KOLNIKA .....	27
4.1. MEĐUNARODNI INDEKSA RAVNOSTI.....	29
4.2. PRORAČUN MEĐUNARODNOG INDEKSA RAVNOSTI.....	30
4.3. UTJECAJ INDEKSA RAVNOSTI NA POTROŠNJU GORIVA.....	33
5. METODE ZA MJERENJE RAVNOSTI KOLNIKA .....	34
5.1. MJERNA LETVA.....	34
5.2. KOTRLJAJUĆA GREDA (HI-LO DETEKTOR).....	35
5.3. INTEGRATOR NERAVNINA (BUMP INTEGRATOR).....	36
5.4. HODAJUĆI PROFILOMJER (WALKING PROFILER) .....	37
5.5. INERCIJALNI PROFILOMJER .....	39
6. ZAKLJUČAK.....	43
7. LITERATURA I IZVORI .....	44

## **POPIS OZNAKA I KRATICA**

**HRN** - Hrvatska norma

**NN** - Narodne novine

**AC** - Asfalt beton (asphalt concreat)

**IRI** - International Roughness Indeks (Međunarodni indeks hrapavosti)

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Kolnik kao površina za cestovni transport [3]
- Slika 2. Kolnik kao površina za manevar aviona [4]
- Slika 3. Kolnik kao parkirna površina na aerodromu [5]
- Slika 4. Kolnik kao površina za manevar i razmjenu robe [6]
- Slika 5. Utjecaji na trajnost kolničke konstrukcije [9]
- Slika 6. Oštećenje kolnika u obliku kolotruga [10]
- Slika 7. Oštećenje kolnika nepravilnog uzorka [11]
- Slika 8. Mrvljenje asfalta zbog lošije kvalitete ugradnje [11]
- Slika 9. Višak bitumeni u smjesi asfalta [11]
- Slika 10. Oštećenje kolnika zbog razlike u temperaturi [11]
- Slika 11. Oštećenje ruba kolnika zbog loše odvodnje [11]
- Slika 12. Razlika u prijenosu opterećenja između savitljivog i krutog kolnika [16]
- Slika 13. Kruti betonski kolnik [17]
- Slika 14. Tipični poprečni presjek krutog betonskog kolnika [7]
- Slika 15. Savitljivi asfaltni kolnik [19]
- Slika 16. Tipični poprečni presjek savitljivog asfaltnog kolnika [7]
- Slika 17. Model četvrtine standardiziranog vozila [1]
- Slika 18. Utjecaj ravnosti kolnika na potrošnju goriva [2]
- Slika 19. Mjerna letva [1]
- Slika 20. Kotrljajuća greda (HI-LO detektor) [1]
- Slika 21. Integrator neravnina (Bump Integrator) [1]
- Slika 22. Princip mjerenja hodajućeg profilomjera [1]
- Slika 23. Direktni grafičkog prikaza rezultata mjerenja profila [25]
- Slika 24. Dijagram s procesima mjernog profilomjera [26]
- Slika 25. Skica inercijalnog profilomjera [1]
- Slika 26. Komplet opreme LaserProf u transportnom kovčegu [27]
- Slika 27. Montirani LaserProof na kuku za vuču osobnog vozila [27]

## 1. UVOD

Glavna karakteristika prometnice je da pruži sigurno udobno i kvalitetno prometovanje na što uvelike utječe ravnost kolnika. 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. [1]

Nedostatak regulative u RH pri izvođenju dovodi do problema jer se nedovoljno kontrolira sama ravnost pa se dobiv lošu kvalitetu za jednako utrošenu vrijednost dok se u svijetu parametri ravnosti više mjere i kontroliraju pa dobivaju bolju kvalitetu.

Boljom regulativnom i boljim ugovaranjem ne samo najjeftinijem dobilo bi se na boljoj ravnosti i većoj kvaliteti što u konačnici dovodi do dugotrajnije građevine i zadovoljnijeg upravitelja zbog manjih troškova održavanja po pitanju gospodarenja kolnicima i korisnika zbog ugodnijeg korištenja prometnice.

Ravnost kolnika je indikator s kojim se određuje koje održavanje kolnika je potrebno i za koliko vremena će trebat rekonstrukcija nekog kolnika a indirektno utječe na i potrošnju goriva gdje vozilo zbog većeg otpora pri kretanju od neravnosti površine troši više goriva. Rezultat toga je veća proizvodnja stakleničkih plinova. [2]

Ovim radom obradit će se ravnosti cestovnih kolnika i metode mjerenja ravnosti i dati pregled parametara koji utječu na promjenu ravnosti.

## 2. KOLNIK

Svi transportni sustavi koriste neku vrstu kolnika za potrebe komunikacije i razmjene robe. Svaki sustav treba svoju vrstu kolnika, površinu za manevar na kojoj bi primio, vodio, transportirao i predao neko dobro sljedećem ili drugom sustavu.

Za transport cestama je jasno da se koristi kolnik za vožnju transportnim vozilima po njegovoj površini. (Slika 1.)



Slika 1. Kolnik kao površina za cestovni transport [3]



Za zračni promet kolnik je površina po kojoj zrakoplovi slijeću i uzlijeću, okreću se i parkiraju. (Slika 2.). Na aerodromima postoje i kolnici koji se koriste kao parkirne površine (Slika 3.), skladište i sve ostale ceste za tranziciju ljudi i robe.



Slika 2. Kolnik kao površina za manevar aviona [4]



Slika 3. Kolnik kao parkirna površina na aerodromu [5]

Kod pomorskog i željezničkog prometa, kolnici se slično koriste kao i kod zračnog prometa znači ne direktno za prometovanje po njemu nego za razmjenu robe i ljudi kroz skladišta, parkinge i terminale. (Slika 4.)



Slika 4. Kolnik kao površina za manevar i razmjenu robe [6]

Glavna funkcija kolnika je da pruži sigurno prometovanje za sebe i druge korisnike, ugodnu vožnju te efikasnu i nisku cijenu prometovanja koja se može očitovati kroz vrijeme putovanja, troškove putovanja u smislu potrošnje goriva i cestarine te amortizacije vozila koja se može ublažiti primjenom boljih geometrijskih elemenata ili ravnijom voznom površinom. [12]

## **2.1.KOLNIČKA KONSTRUKCIJA**

Konstrukcija cijele prometnice sastoji se od više zbijenih, međusobno povezanih slojeva materijala. Gornji slojevi, tj. kolnik po kojem se kreću vozila i nosivi sloj pod njim, nazivaju se kolničkom konstrukcijom. [7]

Donji ustroj ceste leži na sraslom tlu, a izrađuje se od zemlje, drobljenoga kamena ili šljunka, uz koji se izvode uzdužni odvodni kanali i potporni zidovi. Kada je tlo na kojem se vrši projektiranje i izgradnja slabo nosivoga i vlažnog temeljnog materijala, da bi se mogao graditi trup ceste, upotrebljavaju se mehaničke i kemijske metode stabilizacije.

Kolnik je završni, gornji dio kolničke konstrukcije izravno izložen prometnom opterećenju i habanju. Njegova površina, stoga, treba biti zadovoljavajuće ravna, otporna na trošenje i vremenske utjecaje te pružati otpor klizanju. [7]

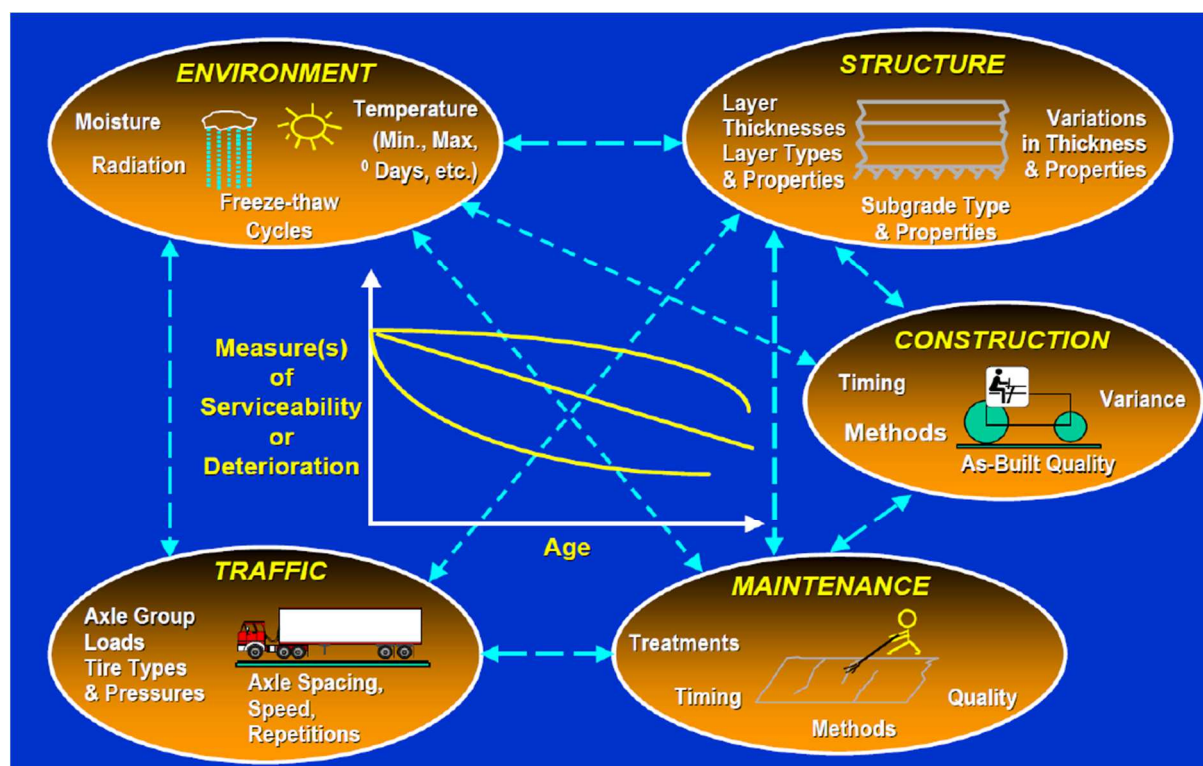
Kolnička konstrukcija je projektirana na određeno projektno razdoblje nakon kojeg je potrebna intervencija na kolniku odnosno obnavljanje zastora s kojim se produljuje vijek trajanja. Projektom je definirana kvaliteta i način na koji se održava kolnik da bi mu se osigurala trajnost. Za projektiranje se uzima u obzira povratni period od određenog broja godina i o veličini prometnog opterećenja. [8]



### 2.1.1. Utjecaju na trajnost kolničke konstrukcije

Utjecaj na trajnost kolničke konstrukcije imaju mnogi parametri (Slika 5.) od kojih su najutjecajniji:

- Prometno opterećenje
- Klimatski uvjeti pri gradnji i eksplantaciji
- Kvaliteta gradnje
- Kolnička konstrukcija i odvodnja s kolnika
- Uvjeti održavanja



Slika 5. Utjecaji na trajnost kolničke konstrukcije [9]

Svi ovi utjecaji utječu na ravnost kolnika odnosno utječu i na dojam korisnika da je cesta neravna odnosno neudobna i nesigurna za prometovanje.

Ti elementi se mogu spriječiti češćim vizualnim pregledima kolnika koji bi trebao biti u sklopu redovnih pregleda ovisno o kategoriji ceste.

**Prometno opterećenje** koje utječe na trajnost ako kolnička konstrukcija nije projektirana za tu razinu prometnog opterećenja. Problem krivog uzetog spektra vozila pri projektiranju dovodi do povećanog prometnog opterećenja gdje vozilo veće mase i broja osovina pri jednom prolazu vozila utječe više na oštećivanje kolničke konstrukcije nego neko osobno vozilo. Isto tako do oštećenja kolničke konstrukcije dolazi zbog krive procjene odnosno krivo uzetog porasta prometnog opterećenja kroz razdoblje korištenja kolnika gdje kolnička konstrukcija nije predviđena za tu količinu prometa. Indikator povećanog prometnog opterećenja su oštećenja kolnika u obliku kolotruga (*Slika 6.*) ,ulegnuća, nabiranja, udubina i slično.



Slika 6. Oštećenje kolnika u obliku kolotruga [10]

Ispucani kolnik na sitne nepravilne komadiće nepravilnog uzorka (*Slika 7.*) su znak prevelikog prometnog opterećenja i najčešći su oblik oštećenja kolnika.

Rezultat su strukturnih problema, obično ispod površine gdje se puno teških vozila vozi po površini, donji slojevi se sabijaju, što rezultira pucanjem duž gornje površine.

Budući da ove pukotine ukazuju na probleme ispod površine, cijelo područje s takvim pukotinama treba ukloniti i zamijeniti. [11]



Slika 7. Oštećenje kolnika nepravilnog uzorka[11]



**Kvaliteta gradnje** odnosno održavanje svojstava građevnog proizvoda tijekom rukovanja, skladištenja i prijevoza. Svi ti elementi rukovanja, skladištenja i prijevoza trebaju biti definirani projektom kroz kontrolu i osiguranje kvalitete gdje izvođač na manjim projektima a nadzorni inženjer na većim mora pratiti ako se tim proizvodima i procesima rukuje u skladu s pravilima struke i ono što projekt propisuje da ne bi došlo do opadanja kvalitete. Npr prijevoz asfaltne mješavine koja se prilikom transporta ne pokrije, dolazi do njenog hlađenja i segregacije materijala. Tako ugrađeni materijal u eksplantaciji se mrvi i odlama što utječe u konačnici na ravnost kolnika.

Narušena kvaliteta ugrađenih materijala zbog nesukladnosti građevnog proizvoda s tehničkim specifikacijama za taj proizvod projektom kolnika. Svi ugrađeni materijali trebaju biti prema tehnički uvjetima za određenu vrstu kolnika. [12]

Najčešći problem nepoštivanja recepture asfalta ili lošije kvalitete, temperature bitumena pri ugradnji je mrvljenje asfalta (*Slika 8.* ).



Slika 8. Mrvljenje asfalta zbog lošije kvalitete ugradnje [11]



Mrvljenjem asfalta s koji doslovno nestaje debljina sloja dešava se kad kiša ispere odlomljene dijelove asfalta ili pod utjecajem veliko prometnog opterećenja. Na taj način se između većih granulata koji se još kompaktno drže na sloj zadržava sloj vode koji je jako opasan za stvaranje vodenog klina kod lakših vozila koji ne mogu zbog svoje male mase istisnuti vodu ispod kotača. [11]

Drugi najčešći problem nepoštivanja recepture asfalta je previše bitumena u smjesi (*Slika 9.*).



Slika 9. Višak bitumena u smjesi asfalta [11]

Manifestira se na način da se na površini kolnik stvori tanak i gladak sloj bitumena koji je opasan po pitanju refleksije svjetla osobito u vrijeme kiše i smanjenje trenja između kotača i kolnika zbog svoje glatke površine.



**Klimatski uvjeti** pri gradnji kolnika moraju biti prema uvjetima za te materijala te zaštićeni od promjene temperature te onečišćenja tokom prijevoza iz tvornice do lokacije ugradnje.

Kasnije za korištenje ceste gdje projektom trebaju biti predviđeni materijali koji su otporni na ekstremne promjene temperature koje utječu različito na različite materijale, tako dolazi do pucanja asfalta u blokovima jer se materijal na površini drugačije steže i širi pod promjenom temperature od materijala u donjem sloju. (Slika 10. ) [11]



Slika 10. Oštećenje kolnika zbog razlike u temperaturi [11]

Isto tako treba uzeti u obzir utjecaj leda (ledene leće), mraza i agresivnih sredstava kojima se posipavaju/špricaju ceste protiv leda i mraza.

Općenito na kolničku konstrukciju utječe okolina sa temperaturom, vlagom i smrzavanjem.



**Kvalitetna odvodnja s kolnika** i ispuštanja u prirodu/lagune bez ulaska i utjecaja na slojeve kolničke konstrukcije gdje bi mogla erodirati npr nasip, narušiti stabilnost i izazvat propadanje kolnika.

Najčešći indikator loše odvodnje s kolnika uz propadanja kolnika i udubina su pukotine uz sam rub kolnika (*Slika 11.*).



Slika 11. Oštećenje ruba kolnika zbog loše odvodnje [11]

Oštećenje ruba površine ceste manifestirano preko pukotina događa se kada voda s kolnika ne može otjecati nego se zadržava uz rub zbog najčešće nakupina prljavštine, izrasle vegetacije i slično zbog čega je ustvari lošija odvodnja s kolnika. Velika vozila koja zbog svoje širine moraju voziti po takvom rubu ceste koji ima slabu odvodnju oštećuju rub asfalta kojem je posteljica natopljena vodom. Rezultat toga su pukotine i udubine. [11]

**Uvjeti održavanja** koji ovise o razini ceste definirani su pravilnikom u NN te se dijele na redovito održavanje kojemu je cilj prohodnosti, tehničke ispravnosti i sigurnosti prometa i izvanredno održavanje koje ne može biti predviđeno.

Prema pravilniku o održavanju kolnika iz NN 90/2014 i članak 12. redovito održavanje cesta čini skup poslova odnosno radova i radnji te mjera koje se provode tijekom cijele godine sukladno mjesečnom odnosno višemjesečnom operativnom programu. [13]

Upravitelj ceste, u svrhu redovitog održavanja cesta dužan je po potrebi provoditi ispitivanje određenih dijelova cesta u svrhu provjere, odnosno dokazivanja ispunjavanja temeljnih zahtjeva ili trajnosti te ceste. [13]

U pravilu, redovito održavanje cesta izvođač radova održavanja cesta je u obvezi obavljati u vrijeme kada je intenzitet prometa na cestama manji i po mogućnosti bez ometanja prometa na javnoj cesti. [13]

Pod redovitim održavanjem cesta iz članak 12 istog pravilnika podrazumijevaju se sljedeći poslovi:

- Nadzor i pregled cesta i objekata,
- Redovito održavanje prometnih površina,
- Redovito održavanje bankina,
- Redovito održavanje pokosa,
- Redovito održavanje sustava odvodnje,
- Redovito održavanje prometne signalizacije i opreme,
- Redovito održavanje cestovnih naprava i uređaja,
- Redovito održavanje vegetacije,
- Osiguranje preglednosti,
- Čišćenje ceste,
- Redovito održavanje cestovnih objekata,
- Interventni radovi,
- Zimska služba. [26]

Izvanredno održavanje prema članku 42. NN 90/2014 spada u grupu zahtjevnijih i opsežnijih radova održavanja cesta, a temeljni im je cilj dugotrajnije uređenje i poboljšanja pojedinih dijelova ceste bez izmjene njenih tehničkih elemenata, osiguranja sigurnosti, stabilnosti i trajnosti ceste i cestovnih objekata i povećanja sigurnosti prometa. [13]

Radovi izvanrednog održavanja izvode se povremeno, a njihov opseg vezan je za stupanj dotrajalosti ili oštećenja ceste. [13]



Izvanredno održavanje cesta posebno obuhvaća:

- obnavljanje i zamjenu kolničkog zastora
- ojačanje kolnika u svrhu obnove i povećanja nosivosti i kvalitete vožnje
- mjestimične popravke kolničke konstrukcije ceste u svrhu zaštite i povećanja nosivosti ceste
- poboljšanje sustava odvodnje ceste
- zamjenu, ugrađivanje nove i poboljšanje vertikalne prometne signalizacije i opreme ceste (kilometarski i smjerokazni stupići, zaštitne ograde i slično) na većim dijelovima ceste
- saniranje odrona, popuzina,
- radovi na zaštiti kosina od erozije,
- sanaciju obložnih zidova,
- zaštitu ceste od podlokavanja,
- radove na uređenju zelenila u svrhu biološke zaštite ceste, ukrašavanja okoliša i zaštite od sniježnih zapuha,
- pojedinačne korekcije geometrijskih elemenata ceste (ublažavanje oštih krivina, uređenje poprečnih nagiba, stajališta uz cestu i drugo) sa svrhom poboljšanja sigurnosti prometa, kojima se ne mijenja usklađenost s lokacijskim uvjetima u skladu s kojim je cesta izgrađena,
- uređenje raskrižja u istoj razini (oblikovanje, preglednost, ugradnja nove signalizacije i opreme) kojima se ne mijenja usklađenost s lokacijskim uvjetima u skladu s kojim je cesta izgrađena,
- poboljšanje uvjeta prometa uređenjem stajališta, odmorišta, pješačkih staza,
- obnovu i postavu instalacija, opreme i uređaja ceste.

Izvanredno održavanje cestovnih objekata posebno obuhvaća:

- zamjenu kolnika
- zamjenu hidroizolacije
- popravak ili zamjenu rasponske konstrukcije, stupova i upornjaka
- popravak ili zamjenu sustava za odvodnju,
- popravak ili zamjenu ležajeva
- popravak ili zamjenu prijelaznih naprava

- uređenje prijelaza na nasip
- zaštitu stupova i upornjaka od podlokavanja
- cjelovitu antikorozivnu zaštitu
- sanaciju i zaštitu betonskih površina
- zamjenu i obnovu propusta i mostova do 10 m raspona [13]

### 2.1.2. Utjecaji na izbor završnog sloja kolničke konstrukcije

Na izbor završnog sloja kolničke konstrukcije o kojem najviše ovisi ravnost kolnika utječe:

**Prometno opterećenje ceste** smatra se veličina prometa izražena bruto težinom robe, putnika i vozila što se u jedinici vremena propušta kroz promatrani presjek. Prometno opterećenje dobije se brojenjem vozila (putničkih automobila, autobusa, kamiona itd.) što u određenom vremenu prođu kroz promatrani presjek ceste. Procjenom prosječnih težina pojedinih vozila i prosječne težine tereta kamiona dobiju se podaci o opterećenju što ga je primio kolnik u jedinici vremena. [14]

Prometno opterećenje nije konstantno; ono se stalno mijenja tijekom godine, a ovisno je i o promjenama što nastaju u gospodarsko-ekonomskoj strukturi kraja kojim prolazi cesta. Proračun prometnog opterećenja vrlo je važan čimbenik pri projektiranju ceste radi utvrđivanja njenih glavnih tehničkih elemenata. [14]

**Geometrijsko tehnički elementi ceste** s kojima je cesta definirana su:

1. kolnik – najčešće je projektiran sa 2 trake. sa stajališta sigurnosti povoljniji su kolnici sa 4 trake s odvojenim smjerovima. kod cesta za mješoviti promet treba projektirati biciklističke staze jer biciklisti u velikom postotku sudjeluju pri nastanku prometnih nezgoda. [15]
2. rubne trake – omogućuju bolje iskorištavanje površine kolnika. [15]
3. bankine – povećavaju sigurnost prometa. a prema istraživanjima povećanjem širine. [15]  
bankine smanjuje se broj nezgoda. [15]
4. traka za spora vozila – izradom te trake povećava se sigurnost prometa. pružanje ceste u pravcu na dužini većoj od 4km ispitivanjima su dokazana povećanja u postotku nastanka prometnih nezgoda. [15]
5. oštri zavoji – posebno utječu na sigurnost prometa ne smije se dozvoliti neposredni nizanje zavoja velikih i malih polumjera. [15]
6. horizontalna i vertikalna preglednost ceste – posebno je važan element sigurnosti, a važno ju je odrediti vezano za dužinu zaustavnog puta. horizontalna preglednost ovisi o polumjeru zavoja i o zaprekama koje se nalaze uz slobodni profil ceste. Vertikalna preglednost ovisi o polumjeru vertikalnog zaobljenja kod konveksnog prijeloma nivelete, a dužina se izračunava vezano za dužinu zaustavnog puta. [15]

7. prijelazna krivulja – izvodi se između pravca i zavoja. njena dužina se određuje na temelju vozno-dinamičkih vizualnih i estetskih uvjeta. klotoida je krivulja koja se koristi za izradu prijelazne krivulje. [15]

8. prijelazna rampa – izvodi se na istoj dužini kao i prijelazna krivulja i na tom dijelu provodi se poprečni nagib u pravcu u poprečni nagib u zavoju (jednostrani). uzdužni nagib treba biti takav da ne zahtjeva čestu promjenu brzine. Veličina nagiba ograničena je propisima do 10%. [15]

**Vrsta prometa** odnosno vozila koji se voze po kolnicima. Postoji pet osnovnih vrsta vozila na našim prometnicama a to su osobna vozila, autobusi, teretna vozila ,motocikli te radni strojevi.

Hrvatska je 2009. imala 1 533 000 registriranih osobnih automobila (346 vozila na 1000 stanovnika), 5100 autobusa, 184 000 motocikala i 164 800 teretnih vozila. God. 2010. prijevoznicka su poduzeća cestama prevezla 56,4 milijuna putnika i 75 milijuna tona tereta. [28]

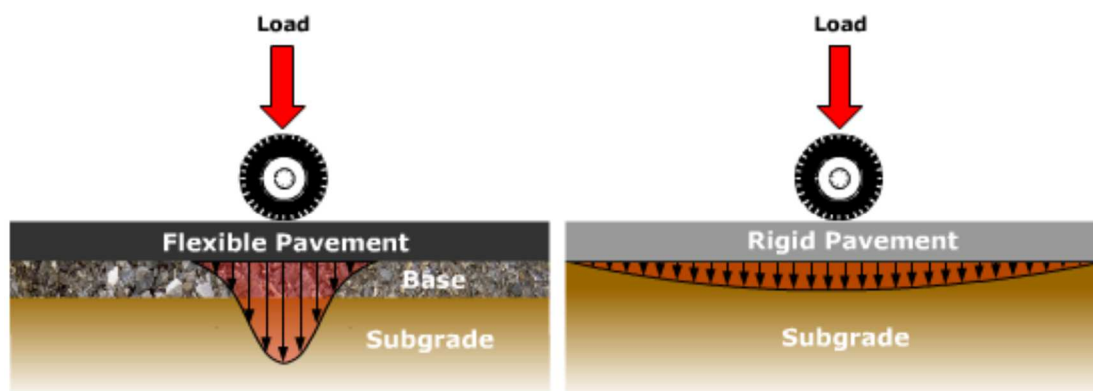
## 2.2.VRSTE KOLNIKA

Kolnikom se smatraju svi gornji slojevi cesta, aerodroma, terminala i parkirališta koji se nalaze iznad nosivog tla koji može bit nasut ili prirodan, najjednostavnije se dijele prema strukturalnim svojstvima i reakciji te načinu prenošenja opterećenja na donje slojeve kolnika.[7]

Dvije osnovne vrste kolnika su:

- kruti kolnici koji koriste cement kao osnovno konstrukcijsko vezivo te habajući sloj
- savitljivi kolnici koji najčešće koriste asfalt kao habajući sloj a u nekim slučajevima i kao konstrukcijski element nosivog sloja kolnika. Postoje i kombinacije te dvije vrste kolnika gdje se koriste elementi krutih i elementi savitljivih kolnika, najčešće cementni nosivi sloj a asfalti habajući.

Kolnici se mogu definirati i prema mehaničkim svojstvima gdje se u obzir uzima ponašanje kolnika pod opterećenjem. U tom slučaju ispitivanja na primjeru nosive ploče se uzimaju u obzir za krute betonske kolnike koji opterećenje prenosi preko savijanja dok se za savitljive asfaltne kolnike ispitivanje nosivosti se radi na posmik. Iz sljedeće slike se može vijesti kako opterećenja ima utjecaj na dvije različite vrste kolnika. Savitljivi asfaltni kolnik opterećenje na donje nosive slojeve prenositi točkasto i duboko na nosivo tlo dok kruti betonski kolnik opterećenje raspoređuje kroz veću površinu zbog veće nosivosti betonske ploče. (Slika 12.) [7]



Slika 12. Razlika u prijenosu opterećenja između savitljivog i krutog kolnika [16]

### 2.2.1. Kruti betonski kolnici

Glavno svojstvo krutog kolnika je iznimna trajnost te su sigurno dobar izbor za prometnice koje su pod velikim opterećenjem kako bi se smanjila potreba za radovima na održavanju i sanaciji kolnika. (Slika 13.)



Slika 13. Kruti betonski kolnik [17]

Ovi kolnici su dobar primjer održivog razvoja nekog kraja zbog trajnosti kolničke betonske konstrukcije te smanjenja globalnog zatopljenja zbog proizvodnje betona koja je manje štetnija nego proizvodnja asfalta i zbog svjetlije boje betonskog kolnika koja odbija svjetlost te tako smanjuje temperaturu okoline pogotovo u gradovima.

Kao investicija kruti betonski kolnik u početku pri izvođenju je puno skuplja solucija od savitljivog asfaltnog kolnika zbog tehnologije izrade i materijala ali u konačnici zbog duljeg vijeka trajanja takve kolničke konstrukcije, nižeg troškova održavanja i manje broja intervencija na popravku takav kruti kolnik je u konačnici potencijalno ekonomski isplativiji od savitljivog asfaltnog kolnika. [17]

Vijek trajanja krutih betonskih kolnika je od četrdeset godina u odnosu na deset godina trajanja savitljivih asfaltnih kolnika koji zahtijevaju i češće održavanje i popravak u odnosu na krute. [7]

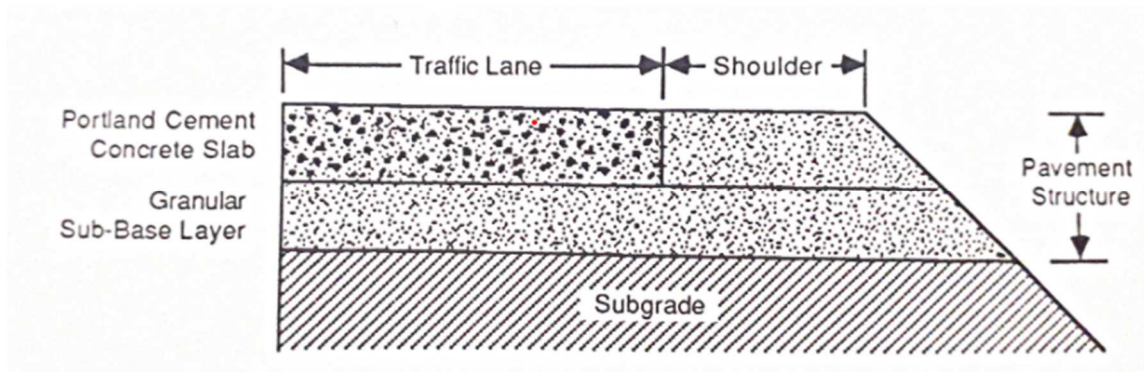
Sigurnost je veća na krutim betonskim kolnicima. Beton je svjetliji, zbog čega bolje reflektira svjetlost od vozila i rasvjetnih tijela, što povećava sigurnost noćne vožnje i smanjuje potrebu za rasvjetom. Veće su i sigurnost u slučaju požara, udobnost i kvaliteta vožnje. Na novim asfaltnim kolnicima udobnost vožnje veća je u početku, no zbog brzog oštećenja smanjuje se; betonska površina omogućava dugotrajnost i udobnost [18]

Postoje tri osnovne vrste krutih betonskih kolnika prema načinu armiranja i prenošenja opterećenja tako da se dijele na:

- Ne armirane i slabo armirane betonske kolnike koji su izgrađeni tako da u betonu nema ili ima jako malo armature . Armatura se stavlja samo kod dilatacijskih spojeva ili prijelaznih naprava. [7]
- Armirani betonski kolnici koji u betonu imaju adekvatno dimenzioniranu armaturu za preuzimanje opterećenja raspoređenu u zone koje su odsječene. [7]
- Pred napregnuti betonski kolnici koji u sebi imaju elemente koji su pred napregnuti te time povećavaju nosivost ploče za jako veliko ili specifično prometno opterećenje kolnika. Slična tehnologija kao za pred napregnute elemente vijadukta i sličnih objekta. Takvi kolnici su iznimno skupi i izgrađuju se samo na jako specifičnim i ekstremnim pozicijama. [7]

Svaki gore navedeni kruti betonski kolnik se sastoji od tri osnovna sloja (*Slika 14.*):

- Betonska ploča kao prometna površina
- Posteljica tamponska ispod betonske ploče
- Nosivo tlo



Slika 14. Tipični poprečni presjek krutog betonskog kolnika [7]



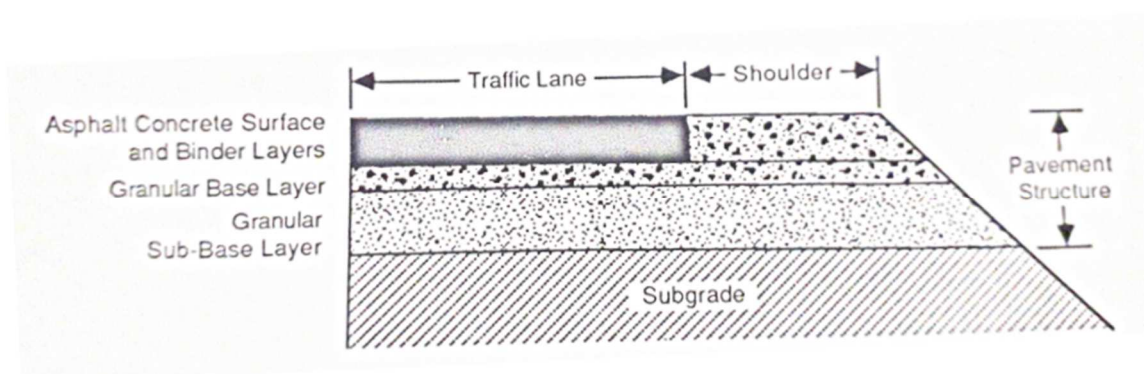
### 2.2.2. Savitljivi asfaltni kolnici

Asfalt je najviše reciklirani, ponovno korišten i svestran materijal za kolnike. (Slika 15.)



Slika 15. Savitljivi asfaltni kolnik [19]

Postoje razne vrste savitljivih asfaltnih kolnika kao što su porozni, tihi , tanko slojni dok su najčešći trajni savitljivi kolnici koji imaju habajući asfaltni sloj, nosivi asfaltni sloj i tampon za niveliranje , posteljicu te nosivi sloj. (Slika 16.).



Slika 16. Tipični poprečni presjek savitljivog asfaltnog kolnika [7]

Slojevi mogu biti međusobno vezani i nevezano ovisno o potrebama i projektu. Rubni dio kolnika je bankina koja je najčešće od tampona koja se po potrebi humusira.



Postoje razne kombinacije i vrste asfaltnih kolnika u kojima se koriste sljedeće bitumenske mješavine:

- asfaltbeton (AC)
- asfaltbeton za vrlo tanke slojeve (BBTM)
- splitmastiksasfalt (SMA)
- lijevani asfalt (MA)
- porozni asfalt (PA)

Prednost savitljivih asfaltnih kolnika naspram krutih betonskih je to što im je puno manja početna cijena za izgradnju, te mogu biti relativno brzo izgrađeni i održavani u slučaju oštećenja gdje se promet može bez problema voditi naizmjenično po nedovršenim slojevima ili uz jako kratka zaustavljanja prometa. Industrija savitljivih kolnika je puno raširenija i dostupnija te je tendencija da se traži bolja rješenja za proizvodnju po pitanju zaštite okoliša.

Savitljivi asfaltni kolnici daju jako dobru cestovnu sigurnost zbog velikog trenja koju pruža habajuća površina kod kočenja i skretanja. Problem se javlja jer se habajući sloj troši, ravnost kolnika se narušava s vremenom te sama sigurnost opada pa se te se savitljivi kolnici moraju češće rekonstruirati od krutih. Dobra stvar je ta što se habajuća površina jako brzo i relativno jeftino može sanirati te obnoviti svojstvo kolnika za trenje i ravnost kolnika. [7]

Odsjaj kod crnog asfaltnog kolnika je puno manji nego kod betonskih krutih kolnika što dovodi do sigurnije vožnje pogotovo po kiši, po suhom i danju su gotovo ne reflektirajući što znači da upijaju puno svjetla što dovodi do zagrijavanja sredine u kojoj se nalaze (gradovi).

Materijali korišteni u savitljivom kolniku se može ponovno koristiti i reciklirati na način da se izfrezani materijal može vratiti u asfaltnu bazu gdje se pomiješa s novim materijalom te je spreman za korištenje na drugom mjestu za druge potrebe. [18]

### **3. GOSPODARENJE KOLNICIMA**

Gospodarenje kolnicima nije nešto novo izmišljeno, odlučivanje oko vođenja i upravljanja kolnicima je normalna pojava kod upravljanja kolnicima. Ideja oko koncepta gospodarenja kolnicima je da se poveća efikasnost u donošenju odluka , proširi vidike i prikaže dobre ili loše povratne informacije kako rezultat donošenja nekih odluka te osiguranje konstantnih donošenja odluka na raznim razinama organizacija koje upravljaju kolnicima. [7]

Gospodarenje kolnicima mora biti primjenjivo u jedini ili cjelini neke strukture preko različitih tehničkih i administrativnih voditelja koji donose odluke neovisno da li rade na samo nekom dijelu projekta ceste ili na kompletnoj mreži prometnica. Sve vrste odluka moraju biti uključene u proces gospodarenja kolnicima uključujući one koji rade na bužetiranju, projektiranju, informiranju , izgradnji održavanju nabavi te nadzoru. [7]

Planiranje gospodarenja kolnicima uključuje ocjenu stanja, odlučivanje o prioritetima održavanja i niz aktivnosti koje su usmjerene na podizanje uporabne razine cestovnih prometnica. Propisi koje donosi Vlada Republike Hrvatske stvaraju jasan okvir aktivnostima koje je potrebno provesti u postupku gospodarenja cestama. Zakonski i pod zakonski akti propisuju način provođenja tih aktivnosti i pravne subjekte koji su odgovorni za njihovo provođenje. Strategije gospodarenja cestama su postupci donošenja dokumentirane i stručne odluke - gdje, kada i kako implementirati određene mjere, za koja sredstva, i koji su očekivani rezultati tih aktivnosti. Praksa u svijetu je uspostavljanje sustava gospodarenja cestama i donošenje odluka uz pomoć računalnih modela odlučivanja koji obuhvaćaju baze podataka o cestama i pokazateljima stanja cesta i objekata. Zbog dobro izgrađene prometne mreže izgradnja novih prometnica nije u porastu te ono stagnira pa se upravitelji koji upravljaju tim cestama i održavaju ih okreću prema kvalitetnijem gospodarenju kolnicima radi postizanja i održavanja određene, zakonom minimalno propisane, razine uporabljivosti cestovnog prometnog sustava. [20]

Idealno gospodarenje kolnicima teži tome da se dobije najbolje moguće gospodarenje za uloženi novac dok omogućuje neometano korištenje kolnika za prometovanje te sigurne i održive kolnike. Naravno idealni sustav upravljanja nekom cestom ne postoji jer je svaki upravitelj drugačiji sa svojim problemima koji se kroz koncept gospodarenja kolnicima prepoznaju, analiziraju i rješavaju. [7]

### **3.1. Svojstva kolnika**

Postoje dva glavna svojstva kolnika koja su najbitnija kako bi kolnik bio izgrađen u skladu s projektom, stabilan i siguran a to su strukturalno i funkcionalno svojstvo.

#### **3.1.1. Strukturalno svojstva kolnika**

Što se tiče strukturalnih svojstva asfaltnog kolnika, ona se definiraju u toku projektiranja i to na način da se moraju predvidjeti svi različiti vanjski utjecaji koji se definiraju od faze građenja do predviđive upotrebljivosti asfaltnog kolnika, ovisno na kojem području se izgrađuje prometnica.

Strukturalno svojstvo kolnika je sposobnost da podnese trenutno i buduće prometno opterećenja bez oštećenja.

Kod projektiranja kolničke konstrukcije bitno je predvidjeti trajanje, odnosno da asfaltni kolnik podnese sve utjecaje uobičajene uporabe održavanja prometa i sve okolišne utjecaje, kao što su kiša, snijeg, led i to na takav način da ti vanjski utjecaji ne prouzroče:

- oštećenja vozne površine koja ugrožavaju sigurnost odvijanja prometa
- deformacije nedopuštenog stupnja
- oštećenja koja se prenose na donje dijelove kolničke konstrukcije
- nerazmjerno velika oštećenja u odnosu na uzroke zbog kojih su nastala.

#### **3.1.2. Funkcionalna svojstva kolnika**

Kada govorimo o funkcionalnim svojstvima asfaltnog kolnika, ovo svojstvo možemo definirati kao opće stanje kolnika u vezi njegove upotrebljivosti, sigurnosti i troškova korištenja.

Funkcionalno svojstvo kolnika odnosi se na nešto praktično i korisno, opće stanje kolnika uzimajući u obzir uporabljivost, sigurnost i troškove korištenja. Zadovoljstvo korisnika je cilj kojem bi trebao težiti svaki pružatelj usluga. Iako je osiguranje nosivosti kolničke konstrukcije glavni zadatak inženjera pri projektiranju, sudionici u prometu ponajprije ocjenjuju kvalitetu ceste s obzirom na ravnost kolnika i kvalitetu vožnje temeljenu na funkcionalnom stanju kolnika. Sudionici u prometu i vlasnici (ili njihovi zastupnici) prijevozničkih kompanija najbrojniji su korisnici cesta, kojima je najvažnija kvaliteta ceste. [21]

#### **4. RAVNOST KOLNIKA**

U projektom razdoblju eksploatacije svake ceste, vozna površina kolnika koja je namijenjena za prometovanje mora biti projektirana i izgrađena tako da omogućuje najvišu moguću sigurnost vožnje i stabilnost za određene projektirane brzine a indikator je odstupanja izvedene vozne površine od one previđene projektom. Vozne površine su definirane uzdužnim i poprečnim nagibom te vertikalnim zaobljenjem nivelete kolnika. [1]

Ravnost vozne površine je jedan od relevantnih parametra koji utječu na udobnost i sigurnost vožnje, stabilnost te na trajnost kolničke konstrukcije tokom eksploatacije gdje elementi vozila prenose stanje ceste na putnika. Odstupanja od projektom idealne ravnosti izazivaju vertikalne oscilacije vozila koje direktno utječu na udobnost te se na temelju mjerenja ravnosti radi ocjena i služnost kolnika u javne svrhe. [22]

Neravnost kolnika utječu i na trajnost kolnika koja se oštećuju i smanjuje im se vijek trajanja što direktno utječe na zagađivanje zraka. Neravan kolnik je i izvor dodatne buke koja se stvara prelaskom vozila preko neravnina. Ravnost kolnika općenito se definira kao izraz nepravilnosti na površini kolnika koji negativno utječu na kvalitetu vožnje vozila a samim tim i na korisnika. Ravnost je važna karakteristika kolnika jer utječe ne samo na kvalitetu vožnje zbog udobnosti, već i na potrošnju goriva zbog većeg otpora te troškove održavanja koji se povećavaju zbog površina kakvima određene vrste vozila nisu previđene (npr. udarne jame). Ravnost vozne površine dovodi u zavisnost putnika, vlasnika vozila i pravne osobe odnosno društva koji upravlja i održava cestu odnosno do zajedničkog zahtjeva o ravnosti vozne površine koja jednima donosi udobnost, sigurnost i kvalitetu a drugoj strani veći profit s puno većim prometom zadovoljnih korisnika i manjim troškovima održavanja. [22]

Zadovoljstvo korisnika te ceste je ono čemu bi trebao težiti svaki vlasnik ceste odnosno pružatelj usluga.

Razlikujemo dvije ravnosti kolnika. Uzdužnu ravnost koja je u smjeru vožnje te se označuje i iskazana je indeksom ravnosti IRI te poprečna ravnost koja prepoznaje kolotrage kao ulegnuća koja se javljaju u eksploataciji ceste. [1]

Na ravnost kolnika najčešće utječe:

- odabir vrste pri projektiranju te način i kvaliteta izvedbe kolničke konstrukcije pri izvođenju
- projektom određena kriva vrsta asfalta
- pri izvođenju odabrana kriva tehnologija i mehanizacija za ugradnju materijala
- vremenski uvjeti pri ugradnji materijala (padaline, temperatura...) i kontinuitet ugradnje koji ovisi o dobroj organizaciji gradilišta
- niveleta projektiranog kolnika
- ostali elementi na kolniku (prijelazne naprave na inženjerskim građevinama, poklopci zdenaca i elementi odvodnje)

Za svaku kategoriju ceste od autoceste do lokalne ceste postoji različiti kriterij ravnosti zbog svojih drugačijih geometrijskih elemenata s kojima su dimenzionirani i koje sadrže. [22]

#### 4.1. MEĐUNARODNI INDEKSA RAVNOSTI

Godine 1982. Svjetska banka je financirala eksperiment u cilju uspostavljanja jedinstvenog sustava utvrđivanja ravnosti kolnika. Nakon četiri godine istraživanja uspostavljen je međunarodni indeks ravnosti IRI („International Roughness Index“). Od onda je to najšire poznati indeks za utvrđivanje ravnosti nekog kolnika koja radi na principu pojednostavljenog dinamičkog modela automobila četvrtine putničkog vozila (quarter-car model). [22]

IRI je razvijen kako bi bio linearan, prenosiv i stabilan s vremenom. Prijenosan je jer se može mjeriti s širokim rasponom opreme koji daje iste rezultate, a stabilan s vremenom, jer je definiran kao matematička transformacija izmjenjenog profila, tako da na njega ne utječu postupak mjerenja niti karakteristike vozilo koje se koristi za mjerenje profila. Temelji se na konceptu istinskog uzdužnog profila, a ne na fizičkim svojstvima određene vrste instrumenta.

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. Manje dobivene vrijednosti iz proračuna IRIa predstavljaju bolju ravnost kolnika do velike vrijednosti predstavljaju neravne kolnike. [1]

Zapravo, indeks IRI je najbolji jedinstveni pokazatelj vozačeve percepcije ravnosti ceste.

## **4.2. PRORAČUN MEĐUNARODNOG INDEKSA RAVNOSTI**

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

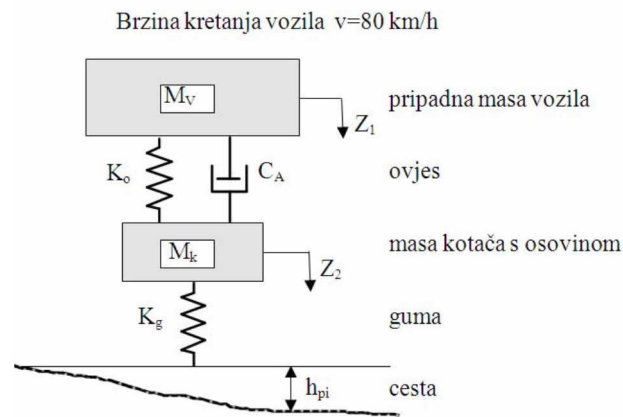
Temeljna svrha pravilno funkcionirajući inercijalnog cestovnog profilomjera je prikupljanje uzdužnih profila. Međutim, profili kao jedinica se malo koristi, češće se stvara statistika koja sumira podatke, pogotovo one karakteristične koje indiciraju neravnost ceste. [22]

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

Nakon izravnjanja (filtriranja) profila vozne površine provodi se proračun pokazatelja uzdužne ravnosti međunarodnog indeksa ravnosti IRI .

Za proračun IRI-ja upotrebljava se standardizirani matematički model četvrtine putničkog vozila (quarter-car model) prema ASTM E 1926-98(2003) zbog toga jer razna vozila imaju različite osovinske razmake , različite karakteristike guma i suspenzije uveden je model četvrtine vozila. [22]

Model četvrtine standardiziranog vozila uključuje sve važne dinamičke elemente koji određuju na koji način neravnine kolnika utječu na vibracije vozila (Slika 17.).



Slika 17. Model četvrtine standardiziranog vozila [1]

$h_{pi}$  - visina izravnanog (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.

Ti dinamički elementi modela četvrtine auta predstavljaju utjecaj na kompletno vozilo.



IRI je definiran kao varijabla realnog profila vozne površine ceste izmjenjenog elektroničkim profilomjerom. Princip računalnog algoritma jest virtualna vožnja standardiziranog modela vozila brzinom od 80 km/h po izravnanom (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 izmjenjenog (filtriranog) profila vozne površine. [1]

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 ( $dt$ ). [1]

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

pri čemu je:

$L$  - duljina mjernog profila ( $m'$ )

$\dot{z}_1$  - vertikalna brzina pripadne mase vozila

$\dot{z}_2$  - 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 [1].

### 4.3. UTJECAJ INDEKSA RAVNOSTI NA POTROŠNJU GORIVA

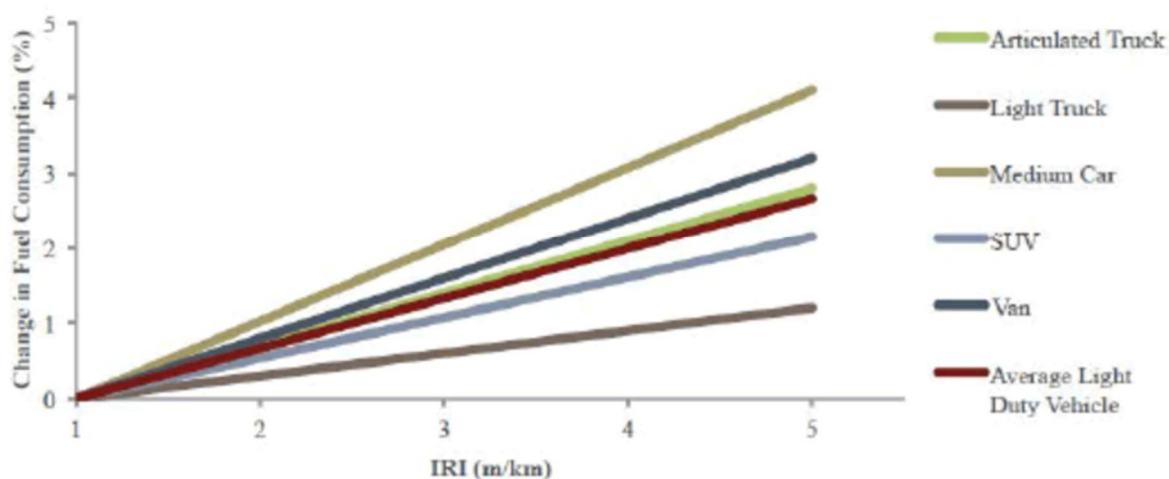
Neravnost ceste povećava otpornost vozilu da se kreće kolnikom, sličan efekt kao kad se vozilo kreće kontra strujanju vjetra. Zbog povećane otpornosti direktno se povećava količina utrošene energije za kretanje tog vozila odnosno povećava se potrošnja goriva.

Interakcija vozila i kolnika je kroz tri bazna faktora a to su :

- ravnost kolnika
- površinska tekstura kolnika
- defleksija

Gdje je ravnost najvažniji faktor za potrošnju goriva.

Postoji mnogo dostupnih modela koji uzimaju u obzir potrošnju goriva nekog vozila pod različitim uvjetima upravljanja, vremenski prilika i stanja kolnika. Najčešće korišteni model je HDM („Highway Design and Maintenance Standards Model“) koji ima više verzija za predstavljanje otpora kretanja nekog vozila. Inženjeri Zabaar i Chatti, 2010. godine su napravili model u kojem su vozila koja se trenutno koriste najviše za prometovanje te su istraživali kako stanje kolnika utječe na potrošnju goriva nekog vozila određene kategorije. (Slika 18.) Pokazuje kako povećanjem koeficijenta IRI dolazi do povećanja potrošnje goriva određenog vozila. [2]



Slika 18. Utjecaj ravnosti kolnika na potrošnju goriva [2]

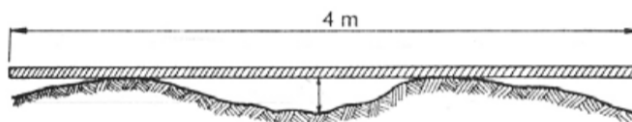
## 5. METODE ZA MJERENJE RAVNOSTI KOLNIKA

Očite naznake neravnog kolnika koje se mjere su udarne jame, pukotine i kolotrazi ali ravnost se mjeri i na mikro-skali prema glatkoći ili hrapavosti površine kolnika. [2]

Postoje razni uređaji i alati za mjerenje ravnosti kolnika a razlikuju se po svojoj složenosti i tehnologiji a u konačnici i rezultatu koji daju.

### 5.1.MJERNA LETVA

Mjerna letva je alat koji se uobičajeno rabi pri ugradnji asfaltnog sloja, radi trenutačne provjere mogućih odstupanja buduće vozne površine. (Slika 19.) [1]



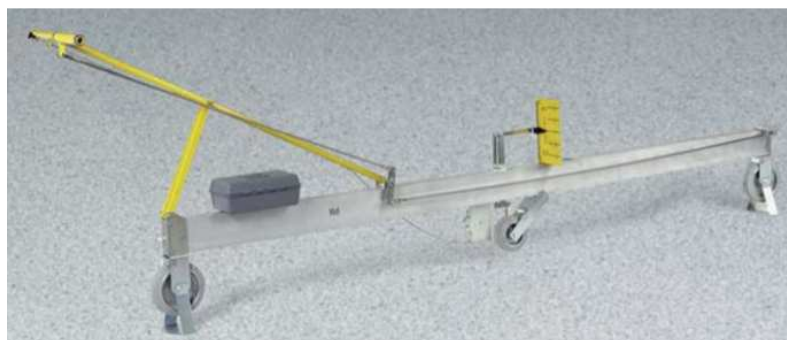
Slika 19. Mjerna letva [1]

Najčešće se upotrebljava pri izradi radnih spojeva, a princip mjerenja propisan je normom HRN EN 13036-7 hrvatske norme propisuju najviša odstupanja od 6mm za asfaltne kolnike a 5mm za betonske kolnike.[8]

Postavljanjem na površinu kolnika utvrđuju se odstupanja koja vidimo u razmaku koji se javlja između letve i kolnika. Na taj način može se najbrže ispitati ravnost na jednoj poziciji ali za neka ispitivanja ravnosti većih duljina taj način nije prigodan jer je spor i nedovoljno je precizan. [8]

## 5.2.KOTRLJAJUĆA GREDA (HI-LO DETEKTOR)

Kotrljajuća greda 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. (Slika 20.) [1]



Slika 20. Kotrljajuća greda (HI-LO detektor) [1]

Uređaj nema mogućnost automatskog zapisivanja vrijednosti odstupanja te je potrebno tokom ispitivanja ravnosti na određenoj dionici ručno zapisivati vrijednosti sa skale u mm. Za ocjenu ravnosti rabi se iskustvena formula za izračunavanje indeksa ravnosti [23].

### 5.3. INTEGRATOR NERAVNINA (BUMP INTEGRATOR)

Integrator neravnina (bump integrator) je u osnovi prikolica s mjernim kotačem koju se vozilom vuče 30-50km/h na kojoj se nalazi okvir kao referentan površina/razina. (Slika 21.)

[1]

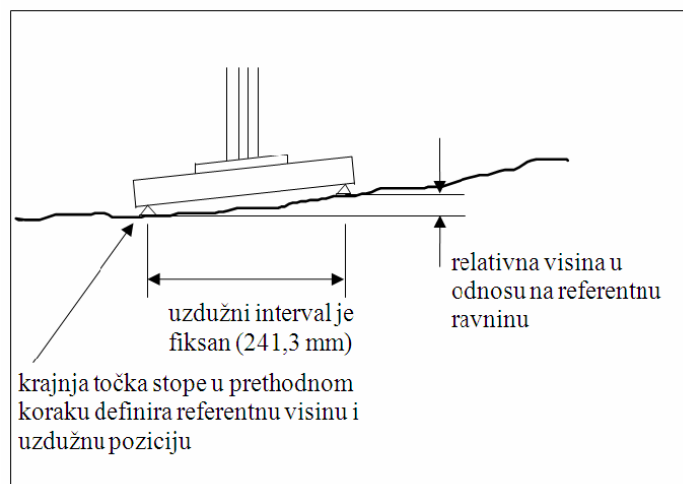


Slika 21. Integrator neravnina (Bump Integrator) ) [1]

Prilikom vožnje preko dionice na kojoj se ispituje ravnost mjeri se razlika odnosno pomak mjernog kotača u odnosu na metalni okvir. Uređaj ima mogućnost automatskog zapisivanja te se podaci prikupljeni koriste za proračun indeksa ravnosti kolnika. [1]

#### 5.4. HODAJUĆI PROFILOMJER (WALKING PROFILER)

Hodajući profilomjer (Walking Profiler) je elektronički uređaja čiji je glavni dio metalna stopa duljine 241,3 mm koja se tijekom mjerenja polaže naizmjenično duž linije mjernog profila. (Slika 22.) [1]



Slika 22. Princip mjerenja hodajućeg profilomjera [1]

Instrument za mjerenje nagiba, Inklinometar je pričvršćen na mjernu stopu koja u kombinaciji s računalom za svaku novu poziciju na mjernoj dionici izbacuje novu referentnu visinu na koju dodaje ili oduzima visinu s prošle pozicije. Nagib stope određuje relativnu visinu. Nagibni uzdužni profil se dobije tako da se stopa polaže kontinuirano u seriju na mjernom profilu/dionici kako bi se dobio rezultat, vrijednost u odnosu na referentnu ravninu. [1]

Elektronički hodajući profilomjer ima mogućnost grafičkog prikaza rezultata mjerenja profila i proračunavanja vrijednosti indeksa ravnosti kolnika (IRI – International Roughness Index – međunarodni indeks neravnosti). [24] *Slika 23.*



Slika 23. Direktni grafičkog prikaza rezultata mjerenja profila [25]

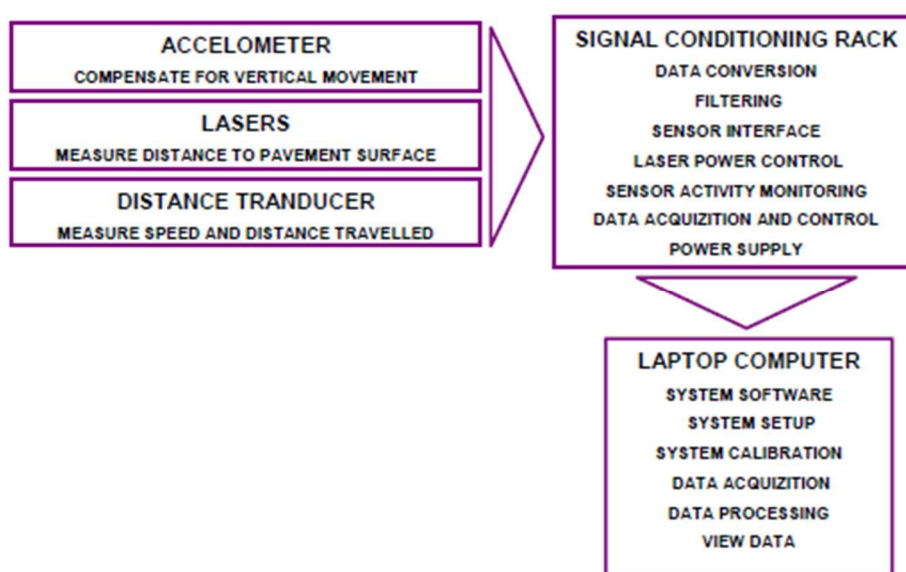
Tijekom mjerenja profilomjer je oslonjen na mjernu površinu preko dva pomoćna transportna kotačića i dva kotačića koja guranjem operatera pokreću mjernu stopu. Mjerenju ovim uređajem prethodi kalibracija s početne točke mjernog profila u duljini 20 metara i vraćanje na početnu poziciju, a brzina mjerenja je od 500 do 800 m u jednom satu [1].

## 5.5. INERCIJALNI PROFILOMJER

Inercijalni profilomjer je uređaj koji radi na isti princip kao gore navedeni hodajući profilomjer samo je ugrađeno na vozilo pa je moguće provesti snimanje profila vozne površine na normalnim brzinama u prometu. To su tehnološko najnapredniji uređaji za mjerenje ravnosti kolnika.

Uređaj se sastoji od akcelerometra i jednim ili više lasera koji bilježe vertikalno ubrzanje na normalnim brzinama u prometu odnosno pomake u odnosu na referentnu ravninu dok se istovremeno uzdužno mjeri i prijeđena duljina tog vozila na kojem je uređaj. (Slika 24.)

[1]



Slika 24. Dijagram s procesima mjernog profilomjera [26]

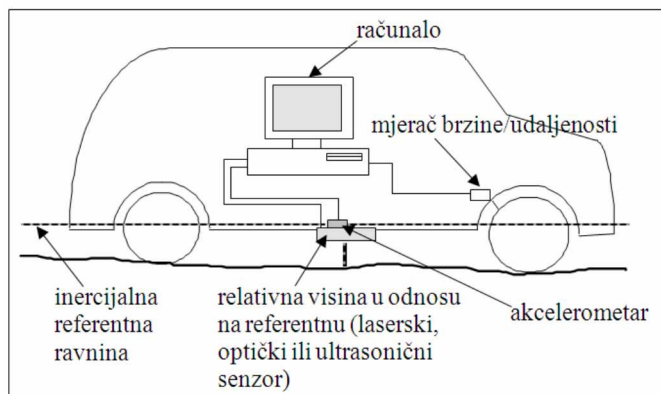
Izmjereni parametri se obrađuju pomoću kompjutera kako bi dali uzdužnu profil izmjerenog kolnika odnosno tražene rezultate.

Općenito za dobivanje podataka o ravnosti iz profilomjera potrebne su dvije osnovne stvari:

- Profilomjer mora biti u stanju očitati vertikalno ubrzanje u odnosu na relativnu visinu
- Odgovarajući software mora biti u mogućnosti obraditi izmjerene vrijednosti da bi se dobili traženi podaci o indeksu ravnosti.



Relativna visina vertikalnog ubrzanja je razmak između referentne ravnine i mjernog profila vozne površine kolničke konstrukcije direktno ispod samog akcelerometra. (Slika 25.)



Slika 25. Skica inercijalnog profilomjera [1]

Učitavanje točaka profila čiji je među razmak 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. [1].

Jednostavniji tip inercijalnog profilomjera je *LaserProf* koji se vrlo jednostavno i brzo montira na svako motorno vozilo koje ima kuku za vuču. (Slika 26.), (Slika 27.)



Slika 26. Komplet opreme LaserProf u transportnom kovčegu [27]



Slika 27. Montirani LaserProof na kuku za vuču osobnog vozila [27]

Laserprof mjeri površinsku ravnost kolnika pri prometnim brzinama do 150 km/h, omogućavajući da se ravnost analizira kako u fazi izgradnje, tako i na eksploatacija ceste bez ometanja prometa.

Uređaj ima dva prijenosna laserska senzora, magnetizirani odometar na kotaču vozila kako bi se zajamčila preciznost u mjerenju udaljenosti/brzini, aluminijske letve promjenjivih geometrija za prilagodnu različitim pozicijama i broju lasera, prijenosno računalo koji u sebi ima softver za obradu podatka iz lasera i odometra za analizu IRiA. Također ima sustav za mjerenje teksture i prednju kameru širokog ekrana s x, y koordinatama za razne potrebe. [27]

Jedan do dva laserska senzora postavljeni su na stražnjem dijelu vozila i povezani s prijenosnim računalom koji prima očitavanja i obrađuje ih u stvarnom vremenu. Odometar je montiran na kotaču vozila kako bi se osigurala preciznost mjerenja udaljenosti. [27]

Informatički program za obradu uzetih mjerenja koji omogućuju prikazivanje, analizu (kontinuirani izračun IRI-ja) i ispis podataka, te mogu prikazati profile na ekranu. Rezultirajući grafikoni mogu se predstaviti u 2-D ili 3-D prikazu. [27]

Primjena računalnih metoda analize ima prednosti jer obrađuju velike količine podataka koji su usko vezani.

Dobivaju se sljedeći parametri:

- Uzdužni profil koji direktno određuje ravnost koja kao funkcionalno svojstvo određuje udobnost vožnje korisnika.
- Površinska hrapavost ispod oba kotača i tekstura kolnika su isto dobiveni parametri iz tog mjerenja ali ne određuju ravnost kolnika nego trenje koja utječe na sigurnost.

Postoje i inercijalni profilomjeri s više desetaka lasera koji mogu istovremeno mjeriti više uzdužnih profila i više poprečnih profila iz kojih se dobiju dubine kolotruga.

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. [27]

Nažalost, rezultati dobiveni od navedenih uređaja ovise od uređaja do uređaja podložni su velikim varijacijama. To je zato što jer bilo koja promjena utječe na reakciju vozila na površinu (npr. trošenje ovjesa ili guma, vozila, tlaka, promjene težine operatera itd.) također će utjecati na rezultat.

Da bi se postigla stabilnost rezultata bez varijacija uređaji moraju biti umjereni prema strogim zahtjevima za umjeravanje.

Umjeravanje jednostavnijih uređaja kao što je mjerna letva nije potrebno nego se za ispravne rezultate treba pratiti i slušati upute proizvođača za korištenje i održavanje tih uređaja. Na intercijalne profilomjere koji su puno složeniji se to ne odnosi jer oni zahtijevaju puno kompleksnije umjeravanje, te to dovodi do puno potencijalnih problema. Najčešći problemi i kvarovi se događaju zbog neprimjerenog korištenja uređaja na način koji nije propisan od strane proizvođača. To uzrokuje raštimanje uređaja kojeg treba kasnije umjeriti da bi dao točne podatke pri mjerenju.

Ti postupci umjeravanja obično uključuju korištenje uređaja na prethodno utvrđenim referentnim površinama i uvođenje potrebnih kalibriranja uređaja kako bi se osiguralo da je rezultat u skladu s prije utvrđenom referencom. Problem tih referenci je taj što se i one mijenjaju s vremena na vrijeme pa i po tom pitanju treba biti oprezan.

## 6. ZAKLJUČAK

Odgovornost upravitelja oko svakodnevnog donošenja dobrih i preciznih odluka kroz sustav gospodarenja kolnicima dovodi do boljih, sigurnijih i u konačnici jeftinijih rješenja.

Takav sustav gospodarenja pruža učinkovit način za postizanje boljih rezultata sa manje troškova jer jedini alat za efikasnost je kvalitetno gospodarenje kolnicima.

U budućnosti je mala vjerojatnost da će količina prometa opasti, naprotiv mislim da će samo rasti te je zbog toga vrlo bitno omogućiti što brže, efikasnije, jeftinije i najbitnije sigurnije prometovanje.

Kako bi omogućili što sigurnije prometovanje bitno je voditi brigu o stanju kolnika te mjerenju kritičnih parametra kao što je ravnost. Praćenjem ravnošću kolnika može se reagirati na vrijeme za održavanje ili rekonstrukciju kolnika kako bi mu se produžio vijek trajanja i osigurao korisniku sigurno prometovanje.

Zbog nedostatka regulative u Republici Hrvatskoj koja bi uzela u obzir tu problematiku nema nekog strukturiranog odražavanja niti planiranja održavanja cesta što dovodi do lošijih stanja cesta. Da se uzme u obzir redovito praćenje i ispitivanjem kritičnih parametara stanja kolnika kao što je ravnost kolnika prepoznao bi se ranije problem propadanja kolnika odnosno kolničke konstrukcije, smanjio bi se trošak održavanja, osiguralo bi se prometovanje bez većih zatvaranja prometnica te bi se povećala sigurnost i kvaliteta prometovanja.

## 7. LITERATURA I IZVORI

- [1] Kriteriji uzdužne ravnosti vozne površine asfaltnih kolnika, GRAĐEVINAR 61 (2009) 12, 1143-1152
- [2] „Pavement Roughness And Fuel Consumption“, Suzanne Greene, Mehdi Akbarian, Frank-Josef Ulm, Jeremy Gregory, August 2013, cshub.mit.edu
- [3] [https://etsp.eu/?page\\_id=24930](https://etsp.eu/?page_id=24930)
- [4] <https://www.businessstraveller.com/business-travel/2016/11/02/ryanair-arrives-frankfurt-rhein-main/>
- [5] <https://airportshuttlecapetown.blogspot.com/2019/12/all-about-airport-parking.html>
- [6] <https://www.latimes.com/business/story/2019-11-07/port-automation-dockworkers-vs-truckers>
- [7] „Modern Pavement Managment“, Ralph Haas, W.Roland.Huston, Jhon Zaniewski, KREIGER PUBLISHING COMPANY, Malabar,Florida, 1994
- [8] HRN EN 13036-7, Površinska svojstva cesta i aerodromskih operativnih površina – Ispitne metode – 7. dio: Mjerenje neravnosti slojeva kolnika: ispitivanje mjernom letvom
- [9] Predavanje P\_1\_2019, „Gospodarenje kolnicima“ , Marijana Cuculić dipl.ing.građ, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet u Rijeci, kolegij „Gospodarenje kolnicima“
- [10] <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-evaluation/damage-from-superheavy-load-moves/>
- [11] <https://halsconstruction.com/types-of-asphalt-damage/>
- [12] TEHNIČKI UVJETI ZA ASFALTNE KOLNIKE, Zagreb, lipanj 2015.
- [13] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_07\\_90\\_1826.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_07_90_1826.html)
- [14] <https://www.prometna-zona.com/eksploatacijske-znacajke-ceste/>
- [15] <https://www.prometna-zona.com/tehnicki-elementi-ceste/>
- [16] <https://www.roanderson.com/2011/12/22/rigid-versus-flexible-pavement-design/>
- [17] <https://www.cemex.hr/betonski-kolnici>

- [18] <https://www.h-a-d.hr/?task=group&gid=1&aid=167>
- [19] <https://cdn.ca.emap.com/wp-content/uploads/sites/8/2020/03/Aggregate-Industries-Roads-Image-1024x683.jpg>
- [20] „ZAKONSKI OKVIRI I PLANIRANJE GOSPODARENJA CESTAMA“, dr.sc. Irena Ištoka Otković, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek,
- [21] „Funkcionalni kriteriji za održivo projektiranje gradskih kolnika „DOI: 10.14256/JCE.1464.2015, Građevinar 6/2016
- [22] „EVOLUTIONAL PROCESS OF PAVEMENT ROUGHNESS EVALUATION BENEFITING FROM SENSOR TECHNOLOGY“ Article in International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems · January 2008
- [23] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (OTU/89), Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1989.
- [24] [www.arrb.com.au](http://www.arrb.com.au) – Walking Profiler Instruction Manual
- [25] [<http://arrbgroup.net/products/walking-profiler-g3/>]
- [26] EVOLUTIONAL PROCESS OF PAVEMENT ROUGHNESS EVALUATION BENEFITING FROM SENSOR TECHNOLOGY, Article in International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, January 2008
- [27][http://www.euroconsultnt.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43&Itemid=42&lang=en](http://www.euroconsultnt.es/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=42&lang=en)
- [28] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=11341>