

Primljen / Received: 8.2.2018.

Ispravljen / Corrected: 22.5.2019.

Prihvaćen / Accepted: 10.6.2019.

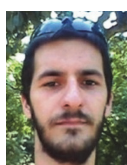
Dostupno online / Available online: 10.12.2019.

# Metode određivanja pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu

## Autori:



<sup>1</sup>Prof.dr.sc. **Danijel Kukaras** dipl.ing.građ.  
[danijel.kukaras@gmail.com](mailto:danijel.kukaras@gmail.com)



<sup>2</sup>Dr.sc. **Miloš Šešlija**, dipl.ing.građ.  
[slavijasrb@gmail.com](mailto:slavijasrb@gmail.com)



<sup>2</sup>Doc.dr.sc. **Igor Peško**, dipl.ing.građ.  
[igor.pesko@gmail.com](mailto:igor.pesko@gmail.com)



<sup>3</sup>Doc.dr.sc. **Dejan Jovanov**, dipl.ing.prom.  
[dejan.jovanov68@gmail.com](mailto:dejan.jovanov68@gmail.com)



<sup>4</sup>Mr.sc. **Miodrag Počuć**, dipl.ing.prom.  
[miodrag.pocuc@adomne.rs](mailto:miodrag.pocuc@adomne.rs)

<sup>1</sup>Sveučilište u Novom Sadu  
Građevinski fakultet u Subotici

<sup>2</sup>Sveučilište u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka  
Odjel za građevinarstvo i geodeziju

<sup>3</sup>Visoka inženjerska škola strukovnih studija, Zemun

<sup>4</sup>Adomne

Stručni rad

**Danijel Kukaras, Miloš Šešlija, Igor Peško, Dejan Jovanov, Miodrag Počuć**

## Metode određivanja pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu

U radu je dan prikaz metode za prikupljanje podataka, a nakon toga i metode za određivanje pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu. Za analizu su uzeta tri tipa gradske cestovne mreže, odnosno analizirane su kolničke konstrukcije za gradsku magistralu, gradsku prometnicu i glavnu ulicu. Korišteni su podaci koji su uzeti na terenu i dobiveni rezultati laboratorijskih ispitivanja. Nakon prikazanih svih prikupljenih podataka, dano je tehničko rješenje kolničke konstrukcije, a potom se dolazi do zaključka da treba izvesti pojačano održavanje, odnosno rekonstrukciju sva tri tipa kolničkih konstrukcija.

### Ključne riječi:

pojačano održavanje, kolničke konstrukcije, urbana sredina

Professional paper

**Danijel Kukaras, Miloš Šešlija, Igor Peško, Dejan Jovanov, Miodrag Počuć**

## Methods for determining increased maintenance of pavement structures in the city

A data collection method, and methods for determining increased maintenance of pavement structures in the city, are presented in the paper. Three types of urban road network were selected for the analysis, i.e. pavement structures for the urban main road, urban road, and collection street were analysed. On-site data and laboratory test results were used in the study. After presentation of all data collected for the analysis, a technical solution for pavement structure is given, and it is concluded that an increased maintenance, i.e. full-scope rehabilitation, must be made for all three pavement structure types.

### Key words:

increased maintenance, pavement structures, urban environment

Fachbericht

**Danijel Kukaras, Miloš Šešlija, Igor Peško, Dejan Jovanov, Miodrag Počuć**

## Methoden zur Festlegung der verbesserten Instandhaltung von Fahrbahnkonstruktionen in der Stadt

In der Abhandlung wird eine Darstellung der Methode zur Datenerfassung dargelegt, und danach auch die Methode zur Festlegung der verbesserten Instandhaltung von Fahrbahnkonstruktionen in der Stadt. Für die Analyse wurden drei Typen von städtischen Straßennetzen ausgewählt, beziehungsweise es wurden Fahrbahnkonstruktionen für die Stadtautobahn, die Stadtstraße und die Hauptstraße analysiert. Herangezogen wurden Felddaten sowie die erhaltenen Ergebnisse der Laboruntersuchungen. Nach Darlegung aller zusammengetragenen Daten wurde eine technische Lösung für die Fahrbahnkonstruktion vorgelegt, und danach kommt man zum Schluss, dass eine verstärkte Instandhaltung, beziehungsweise eine Rekonstruktion aller drei Fahrbahnkonstruktionstypen durchzuführen ist.

### Schlüsselwörter:

verstärkte Instandhaltung, Fahrbahnkonstruktionen, urbane Umgebung

## 1. Uvod

Cestovna infrastruktura je jedan od najvrjednijih dobara svakog društva i pokazatelj je razvoja nacionalne ekonomije [1]. Gradska cestovna mreža podrazumijeva mrežni sustav objekata koji ima višestruku funkciju, od kretanja i mirovanja vozila svih vidova prometa, pa do osiguranja cestovne pristupačnosti urbanističkim sadržajima. Gradska i izvangradska prometna mreža imaju niz sličnosti ali i značajne razlike u funkcionalnom smislu. Suština je u tome da su zadaci gradske cestovne mreže složeniji, ograničenija oštija, a vrste cesta raznovrsnije [2].

Pojam metoda odnosi se na nešto smišljeno i plansko postupanje pri radu radi postignuća nekog uspjeha. U cestovnom inženjerstvu metode određivanja pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu definira nekoliko parametara, a to su [3]:

- struktura postojeće kolničke konstrukcije,
- svojstva materijala u kolničkoj konstrukciji,
- oštećenja vozne površine kolnika,
- strukturno - mehaničke značajke kolnika,
- cestovno opterećenje i
- uvjeti odvijanja prometa.

Nakon prikazanih parametara pristupa se određivanju odnosno dimenzioniranju kolničke konstrukcije. Uvjeti na gradskim cestama dosta su otežani u odnosu na izvangradske ceste, jer prometno opterećenje mora naći alternativno rješenje kako ne bi došlo do zagušenja prometa. Cjelokupna metodologija pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradovima, objasniti će se na primjerima nekoliko ulica koje se nalaze u gradovima Srbije. Dan je cjelokupni prikaz svih analiziranih parametara, gdje će kroz rad biti objašnjeni teoretski, a ujedno i praktični rezultati istraživanja. Težište je na nosivosti kolničke konstrukcije i vrsti materijala kroz sve analizirane slojeve, kao i na projektnim rješenjima koja su usvojena za kasniju rekonstrukciju.

Kroz analizirane radove veći se dio istraživača bavio održavanjem cesta, odnosno gospodarenjem njima u smislu prikupljanja podataka i kasnije obradom podataka primjenom računalnog paketa HDM-4 modela. Tako su Pradena i Houben [4] dali prikaz kriterija za održivo projektiranje gradskih kolnika s pregledom kroz veći broj radova. U radu je dan prijedlog IRI kriterija za brzine dopuštene na gradskim prometnicama, odnosno tzv. IRI (city) kriterij. U radu [5] prikazana je analiza mjerenja uzdužne ravnosti kolnika izraženo kroz tzv. međunarodni indeks ravnosti IRI. Razmatrana je postojeća metoda za mjerenje ravnosti kolnika i ocjenu stanja cestovne mreže u Republici Srbiji, ali za izvangradske dionice u ukupnoj dužini od 13.191,34 km. U radu [6] zanimljiv je prikaz ugovora o održavanju i popravku cesta prema

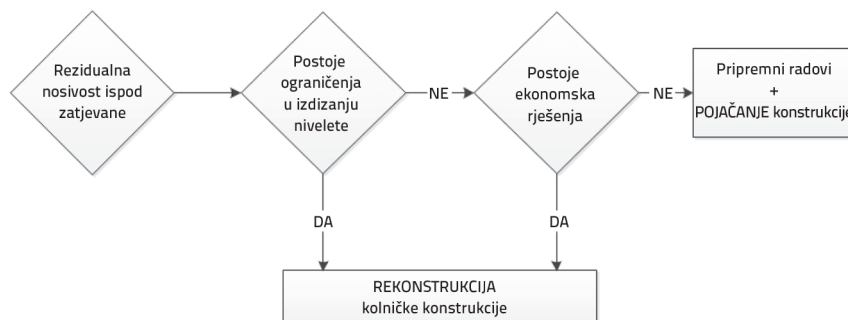
(eng. *Output and Performance-Based Contracting for Roads - OPBC*). Ujedno su prikazane uštede koje se ostvaruju primjenom takvih vrsta ugovora u održavanju cesta i gospodarenju njima. Autor Sršen [7] daje opis višenamjenskog mjernog uređaja za suvremene tehnologije i njegovu primjenu u analizi stanja cesta i prognoza njihovog ponašanja, odnosno dan je opis vozila (*ARAM*) za automatsku analizu cesta. Prikazani su svi parametri vozila kroz teoretski dio, ali bez praktičnog primjera. Neki od autora [8] također su obradili gospodarenje cestama, ali u Zagrebačkoj županiji primjenom HDM-4 modela, na osnovi kojeg su određena novčana ulaganja za provedbu radova održavanja. Autori Ahmed i Tarefder [9] istraživali su usporednu analizu (eng. *Ground Penetrate Radar - GPR*) radara i (eng. *Falling Weight Deflectometer - FWD*) deflektometra za ispitivanja stanja kolničke konstrukcije. Opisali su metodologiju primjene oba uređaja kako funkcioniraju na trima dionicama u Novom Meksiku. Nakon tih istraživanja zaključili su da se obje metode mogu primjenjivati za prikupljanje baze podataka i kasnije određivanje stanja kolničke konstrukcije.

## 2. Metode određivanja pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu

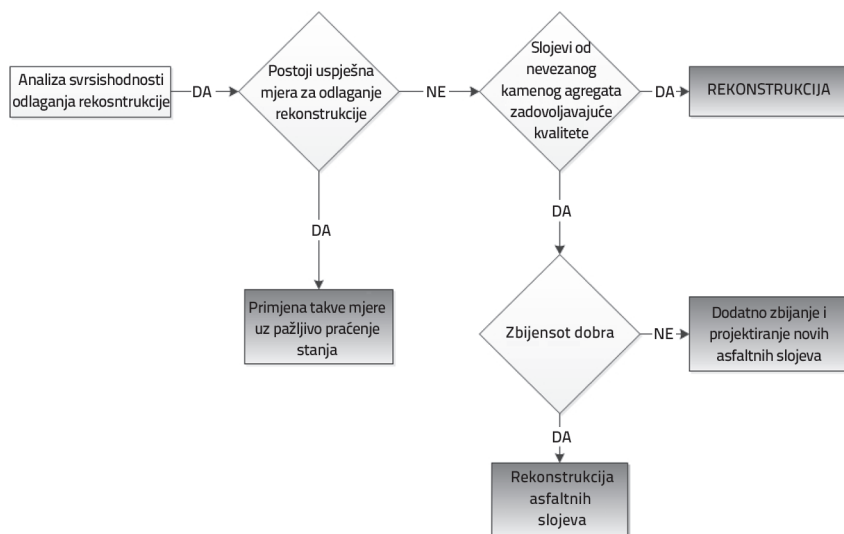
Prilikom određivanja metoda pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija na izvangradskim i gradskim prometnicama treba najprije prikupiti podatke. Prikupljanje podataka je skup aktivnosti. Svaka stavka i podatak koji se prikuplja zahtijeva vrijeme, trud i novac za prikupljanje, čuvanje, preuzimanje i korištenje. Kada istraživanje uzorka nastalog oštećenja upućuje na to da uzorak potječe iz donjih nosivih slojeva kolničke konstrukcije, tada se primjenjuje jedna od sljedećih aktivnosti (slika 1.):

- pojačanje kolničke konstrukcije izradom novih slojeva,
- rekonstrukcija – djelomična ili potpuna.

Ako je analizom postojećeg stanja utvrđeno da je konstrukcija bitno oslabljena, vjerojatno će je trebati pojačati, ali pritom uz određene okolnosti. Naime, potrebna je detaljna analiza rizika, koji se preuzima ostavljanjem problematičnog sloja u konstrukciji, jer se može dogoditi da je rekonstrukcija isplativija od izrade debelog sloja pojačanja. Pri tome, važno je da period analize alternativnih mjera bude dovoljno dug kako bi se mogle



Slika 1. Algoritam principa projektiranja obnove kolnika kada je potrebno pojačanje kolničke konstrukcije



Slika 2. Algoritam principa projektiranja rekonstrukcije kolnika

razmotriti sve prednosti i nedostaci projektiranih varijanti. Ocijeni li se da je sloj koji je uzrok oštećenja konstrukcije i nakon izrade pojačanja ima tendenciju nagloga propadanja, tada rekonstrukcija zaista treba pokazati značajnu prednost. Princip projektiranja rekonstrukcije kolničke konstrukcije prikazan je na slici 2.

Ovo poglavlje se bavi vrlo velikim brojem pitanja s kojima se projektanti kolničkih konstrukcija suočavaju prilikom određivanja točnih mjera sanacija, odnosno pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradu.

### 2.1. Struktura postojeće kolničke konstrukcije

Struktura postojeće kolničke konstrukcije ispituje se radi određivanja debljine njezinih slojeva na analiziranoj dionici. Određivanje debljine se radi pomoću istražnih jama ili pomoću istražnih bušotina. Istražne jame i bušotine zahtijevaju određenu građevinsku mehanizaciju za takva bušenja. Obje metode su popularne, ali se u gradskim uvjetima više primjenjuju istražne bušotine. Nakon bušenja grafički se prikazuju svi slojevi kolničke konstrukcije na određenim stacionažama kako bi se lakše razmotrilo njezino postojeće stanje.

### 2.2. Svojstva materijala u kolničkoj konstrukciji

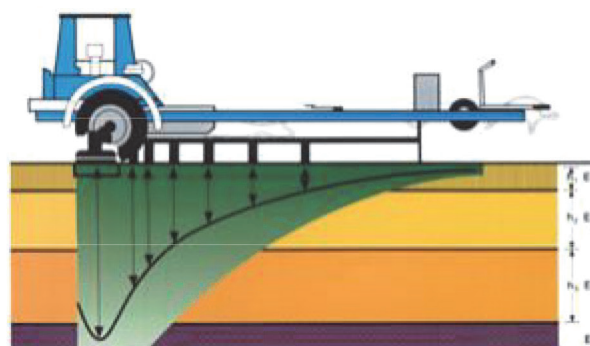
Nakon izvedenog uzorkovanja iz sondažnih jama ili bušotina, obrađuje se materijal koji je uzet iz kolničke konstrukcije. Svaka kolnička konstrukcija se sastoji od sljedećih slojeva: posteljice, drobljenog kamenog agregata krupnije frakcije (0-63 mm), pa potom drobljenog kamenog agregata sitnije frakcije (0-31 mm) i asfaltnih slojeva. To su najčešći slojevi koji se pojavljuju prilikom uzorkovanja i nakon toga se ispituju. Ispitivanja koja se provode za slojeve bit će prikazana posebno u idućem poglavlju s naglašenim normama koje su primjenjene prilikom ispitivanja.

### 2.3. Oštećenje površine

Mjerenje oštećenja površine obuhvaća niz oštećenja, od pukotina do površinskih deformacija kao što su kolotrazi. Postoje tri grupe tehnika za evidentiranje površinskih oštećenja. Ručne ili manualne tehnike se baziraju na geodetskom vizualnom snimanju oštećenja i evidentiranju tih podataka na papir, ili se primjenjuje neka druga računalna tehnika.

### 2.4. Strukturno - mehaničke značajke kolnika

Metode za ispitivanje strukturno - mehaničkih značajki kolnika ovise o vrsti deflektometra s padajućim teretom (*FWD*) (slika 3.). Te značajke kolnika mjere se indirektno kroz defleksije kolnika.



Slika 3. Princip rada deflektometra sa padajućim teretom (FWD) [10]

### 2.5. Prometno opterećenje

Sustav prikupljanja podataka o prometu sastoji se od jednog ili više senzora i jedinice za prikupljanje podataka, a to su: klasifikacija vozila, vrste senzora za detekciju vozila i oprema za mjerenje osovinskog opterećenja.

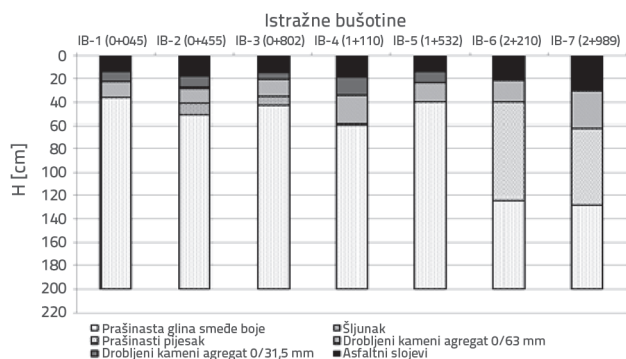
### 3. Prikaz i analiza rezultata istraživanja

Za prikaz i kasniju analizu rezultata analizirano je nekoliko ulica, odnosno istraživanja su izvedena za primarnu cestovnu mrežu, tj analizirana je po jedna ulica za svaki tip primarne gradske cestovne mreže: za gradske magistrale, gradske prometnice i glavne ulice. Prometnice sekundarne cestovne mreže nisu analizirane jer sadrže znatno manji opseg istražnih radova u odnosu na primarne gradske cestovne mreže.

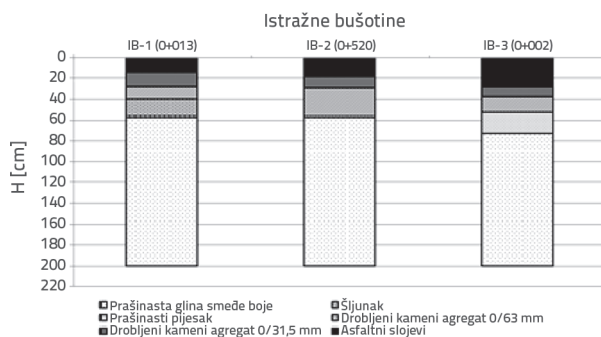
### 3.1. Sastav postojeće kolničke konstrukcije

Za gradske magistrale provedena su istražna bušenja na osnovi kojih je sastav postojeće kolničke konstrukcije. Za gradsku magistralu koja je ukupne dužine oko 3 kilometra, bušotine su izvedene približno na svakih 500 metara, na osnovi čega je utvrđen sastav kolničke konstrukcije. Gradske prometnice i glavne ulice također su rađene istražnim bušenjem. Ukupna dužina gradske prometnice je iznosila oko 1100 metara, dok je sabirna ulica približno 600 metara dužine. Za gradsku prometnicu su uzete tri bušotine promjera 220 milimetara i ukupne dubine 2 metra. Glavna ulica je također rađena pomoću bušotina različitih promjera Ø146 i Ø220, pri čemu su izbušene ukupno dvije bušotine ukupne dubine 2,0 m.

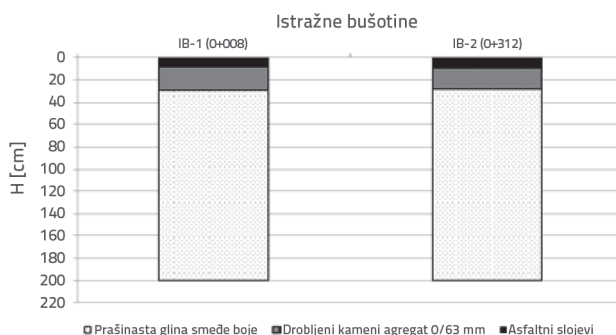
Strukture bušotina za analizirane prometnice prikazane su na slikama 4., 5. i 6. Dan je prikaz stacionaže, kao i debljina slojeva za analiziranu prometnicu.



Slika 4. Grafički prikaz sastava kolničke konstrukcije na gradskoj magistrali



Slika 5. Grafički prikaz sastava kolničke konstrukcije na gradskoj prometnici



Slika 6. Grafički prikaz sastava kolničke konstrukcije na sabirnoj ulici

### 3.2. Svojstva materijala u kolničkoj konstrukciji

Nakon izvedenih istražnih bušotina, prikazanog sastava i debljine, izvode se laboratorijska ispitivanja kako bi se utvrdila svojstva materijala u kolničkoj konstrukciji, odnosno ispitala i ocijenila kvaliteta materijala:

Tablica 1. Rezultati laboratorijskog ispitivanja granulometrijskog sastava materijala

Istražna bušotina	Granulometrijski sastav				Aterbegove granice konzistencije			AASHTO klasif.	Stupanj zbijenosti [%]
	glina	prašina	pijesak	šljunak	wl [%]	wp [%]	I <sub>p</sub>		
IB 1 GM	15	80	4	1	40	24.9	15.1	A-7-6	97
IB 2 GM	23	74	3	0	53	25	28	A-7-6	98
IB 3 GM	25	71	4	17	65	27	38	A-7-6	100
IB 4 GM	22	72	6	0	53	26	27	A-7-6	100
IB 5 GM	18	70	12	0	51	24	27	A-7-6	101
IB 6 GM	15	72	13	0	53	24	29	A-7-6	96
IB 7 GM	0	18	82	0	-	-	-	A-1	98
IB 1 GS	18	55	10	17	52	26	28	A-7-6	97
IB 2 GS	23	74	3	0	57	29	36	A-7-6	97
IB 3 GS	0	80	18	2	48	22	28	A-7-6	97
IB 1 SU	22	56	18	4	53	25	28	A-7-6	99
IB 2 SU	10	64	25	1	46	22	24	A-7-6	97

IB – istražna bušotina; GM – gradska magistrala; GS – gradska prometnica; SU – glavna ulica

- iz posteljice,
- iz donjeg nosivog sloja frakcije (0/31,5 mm i 0/63 mm),
- iz asfaltnih slojeva.

### 3.2.1. Svojstva materijala iz posteljice

Provedena su sljedeća ispitivanja posteljice:

- određivanje granulometrijskog sastava (SRPS U.B1.018:2005),
- Aterbegove granice konzistencije (SRPS U.B1.020:1980),
- određivanje odnosa vlažnosti i suhe gustoće uzorka (SRPS U.B1.038:1997) – standardni *Proctor*-ov test,
- laboratorijsko određivanje kalifornijskog indeksa nosivosti (*CBR*) (SRPS EN 13286-47).

Laboratorijska ispitivanja granulometrijskog sastava materijala prikazana su u tablici 1. Kao materijal prevladava visokoplastična glina. Samo jedan od 12 uzoraka ima plastičnost koja se može okarakterizirati kao niskoplastična glina odnosno kao pijesak ili zemljani materijal male plastičnosti. Nakon prikazanih svih rezultata primijećeno je da samo tri uzorka od ukupno 12 imaju stopostotnu zbijenost. U posteljici kolničke konstrukcije prevladava kohezivni materijal visoke plastičnosti ( $I_p \geq 25$ ). Materijal se pokazao kao kohezivan pri srednjem ili niskom stanju vlage. Promjena vlage u materijalu je vrlo spora što ga čini teškim za rad na terenu i u laboratoriju. Nosivost posteljice je ispitana određivanjem kalifornijskog indeksa nosivosti prema SRPS EN 13286-47. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 2.

Analizom rezultata ispitivanja uočava se da je nosivost posteljice od koherentnog materijala vrlo slaba ili slaba. Svi ispitani uzorci na koherentnom materijalu imaju nosivost koja je veća od  $CBR = 4\%$ .

Tablica 2. Rezultati laboratorijskog ispitivanja iz slojeva nosivosti posteljice

Istražna bušotina	CBR. lab [%]
IB 1 GM	4,5
IB 2 GM	4,2
IB 3 GM	5,8
IB 4 GM	4,9
IB 5 GM	6,6
IB 6 GM	5,8
IB 7 GM	4,4
IB 1 GS	6,8
IB 2 GS	4,3
IB 3 GS	4,9
IB 1 SU	7,6
IB 2 SU	8,9

IB – istražna bušotina; GM – gradska magistrala; GS – gradska prometnica; SU – glavna ulica

### 3.2.2. Svojstva materijala iz donjeg nosivog sloja od nevezanog granuliranog materijala – pjeskovitog šljunka 0/63 mm

Za donji nosivi sloj koji je od nevezanog granuliranog materijala, provedena su sljedeća ispitivanja:

- granulometrijski sastav (SRPS U.B1.018), i
- klasifikacija materijala (*AASHTO* i *UCS*).

U tablici 3. prikazan je granulometrijski sastav drobljenog kamenog agregata frakcije 0/63mm. Udio finih čestica je vrlo mali. Ni na jednom od 12 ispitivanih uzoraka koji su uzeti u

Tablica 3. Rezultati laboratorijskog ispitivanja iz slojeva nevezanog granuliranog materijala – pjeskovitog šljunka frakcije 0/63 mm

Istražna bušotina	Granulometrijski sastav [%]			Klasifikacija nevezanog granuliranog materijala	
	Udio "finih" čestica	0,06-2,00 [mm]	2,00-60,00 [mm]	UCS	AASHTO
IB 1 GM	3	30	67	GP	A-1
IB 2 GM	2	18	80	GP	A-1
IB 3 GM	1	23	76	GP	A-1
IB 4 GM	3	24	73	GP	A-1
IB 5 GM	2	13	85	GP	A-1
IB 6 GM	1	24	75	GP	A-1
IB 7 GM	4	15	81	GP	A-1
IB 1 GS	2	22	76	GP	A-1
IB 2 GS	3	16	81	GP	A-1
IB 3 GS	3	14	83	GP	A-1
IB 1 SU	4	25	71	GP	A-1
IB 2 SU	2	20	78	GP	A-1

IB – istražna bušotina; GM – gradska magistrala; GS – gradska prometnica; SU – glavna ulica

razmatranje nemaju veću vrijednost od 5- postotnog udjela finih čestica. Rezultati su potvrdili opservaciju do koje se došlo makroskopskim pregledom materijala tijekom iskopa sondažnih jama, a to je da je materijal niske osjetljivosti na promjenu vlage. Aterbegove granice konzistencije nisu mogle biti utvrđene. Radi se o materijalima s vrlo malim udjelom finih čestica koje ne pokazuju plastičnost. Prema klasifikaciji AASHTO, materijal pripada grupi A-1, a prema klasifikaciji UCS, pripada grupi GP-odnosno šljunak loše granuliran.

### 3.2.3. Svojstva materijala iz donjeg nosivog sloja od nevezanog granuliranog materijala – pjeskovitog šljunka 0/31,5 mm

Provedena su ista ispitivanja kao kod nevezanog granuliranog materijala – pjeskovitog šljunka frakcije 0/63 mm. U tablici 4. prikazani su rezultati ispitivanja granulometrijskog sastava i klasifikacije materijala od nevezanog granuliranog materijala frakcije 0/31.5 mm.

Nakon prikazanih rezultata u tablici 4. uočava se da je udio finih čestica vrlo mali. Ni na jednom od 12 ispitivanih uzoraka koji su uzeti u razmatranje nemaju veću vrijednost od 5 - postotnog udjela finih čestica. Rezultati granulometrijskog sastava su potvrdili opservaciju do koje se došlo makroskopskim pregledom materijala tijekom iskopa sondažnih jama, a to je da je materijal niske osjetljivosti na promjenu vlage. Aterbegove granice konzistencije nisu mogle biti utvrđene. Radi se o materijalima s vrlo mali udjelom finih čestica koje ne pokazuju plastičnost. Prema klasifikaciji AASHTO, materijali pripadaju grupi A-1, a prema klasifikaciji UCS, pripadaju grupi GP-odnosno šljunak loše granuliran.

### 3.2.4. Svojstva materijala iz asfaltnih slojeva

Asfaltni uzorci-jezgre vađeni su pomoću dijamentne krune promjera Ø100 mm i između sondažnih jama kako bi se utvrdili slojevi kolničke konstrukcije. Za potrebe ispitivanja na asfaltnim uzorcima-jezgama po ispitnim mjestima, pripremljeni su uzorci po Marshallu na kojima su ispitana i utvrđena sljedeća fizikalno-mehanička svojstva:

- stabilnost (SRPS U.M8.090:1967),
- gustoća uzorka (SRPS EN 12697-5),
- gustoća asfaltne mješavine (SRPS EN 12697-6),
- šupljine u uzorku (SRPS EN 12697-8),
- šupljine u mješavini kamenog materijala (SRPS EN 12697-8),
- šupljine ispunjene vezivom (SRPS EN 12697-8),
- granulometrijski sastav mineralne mješavine (SRPS EN 933-1).

Nakon svih ispitivanja, u sljedećim su tablicama prikazane vrijednosti statističkih pokazatelja udjela bitumena po slojevima, udjela šupljina u uzorku, stupnja zbijenosti u uzorku, kao i granulometrijskog sastava asfaltbetona i bitumeniziranog nosivog sloja.

#### Debljina asfaltnih slojeva

Debljina asfaltnih slojeva je određena prema normi SRPS EN 12697-20. Debljine su prikazane u obliku statističkih podataka, gdje je urađena srednja vrijednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije, kao i minimalne i maksimalne debljine asfaltnih slojeva. U tablici 5. prikazani su statistički podaci za gradsku magistralu, gradsku prometnicu i glavnu ulicu. Analizom rezultata zaključeno je da su svi asfaltni slojevi homogeni za analiziranu gradsku cestovnu mrežu. Gradska magistrala ima

Tablica 4. Rezultati laboratorijskog ispitivanja iz slojeva nevezanog granuliranog materijala – pjeskovitog šljunka frakcije 0/31.5 mm

Istražna bušotina	Granulometrijskog sastav [%]			Klasifikacija nevezanog granuliranog materijala	
	Udio "finih" čestica	0,06-2,00 [mm]	2,00-60,00 [mm]	UCS	AASHTO
IB 1 GM	2	21	77	GP	A-1
IB 2 GM	1	39	60	GP	A-1
IB 3 GM	2	29	69	GP	A-1
IB 4 GM	3	24	73	GP	A-1
IB 5 GM	2	13	85	GP	A-1
IB 6 GM	-	-	-	-	-
IB 7 GM	-	-	-	-	-
IB 1 GS	2	28	70	GP	A-1
IB 2 GS	3	37	60	GP	A-1
IB 3 GS	3	29	68	GP	A-1
IB 1 SU	-	-	-	-	-
IB 2 SU	-	-	-	-	-

IB – istražna bušotina; GM – gradska magistrala; GS – gradska prometnica; SU – glavna ulica

Tablica 5. Statistički pokazatelji debljine asfaltnih slojeva

Statistički parametri	Gradska magistrala	Gradska prometnica	Glavna ulica
Srednja vrijednost	16,25	22,40	9,75
Standardna devijacija	3,74	5,03	1,71
Koeficijent varijacije	0,23	0,22	0,18
Minimalni	10,00	15,00	8,00
Maksimalni	25,00	29,00	12,00

Tablica 6. Statistički pokazatelji granulometrijskog sastava iz asfaltnih slojeva na gradskoj magistrali

Statistički parametri	Filer	Pijesak Homogeni potez 1	Pijesak Homogeni potez 2	Kamena sitnež
Srednja vrijednost	8.55	22.47	16.20	70.55
Standardna devijacija	1.02	3.09	0.71	4.77
Koeficijent varijacije	0.12	0.14	0,04	0,07
Minimalni	7.30	17.50	15.70	64.00
Maksimalni	10.50	25.50	16.70	76.80

Tablica 7. Statistički pokazatelji granulometrijskog sastava iz asfaltnih slojeva na gradskoj prometnici

Statistički parametri	Filer Homogeni potez 1	Filer Homogeni potez 2	Pijesak	Kamena sitnež
Srednja vrijednost	11,90	7,85	18,38	72,76
Standardna devijacija	1,27	2,65	1,70	2,73
Koeficijent varijacije	0,11	0,34	0,09	0,04
Minimalni	11,00	7,10	16,60	68,40
Maksimalni	12,80	8,60	20,90	76,30

Tablica 8. Statistički pokazatelji granulometrijskog sastava iz asfaltnih slojeva na glavnoj ulici

Statistički parametri	Filer	Pijesak	Kamena sitnež
Srednja vrijednost	7,83	40,06	98,13
Standardna devijacija	1,09	3,40	1,64
Koeficijent varijacije	0,14	0,08	0,02
Minimalni	6,90	33,40	95,70
Maksimalni	10,70	45,70	99,70

najveći koeficijent varijacije, što je i logično jer ima i dosta velik uzorak za analizu, a i rasipanje rezultata je znatno, kada se uoče minimalne i maksimalne debljine asfaltnih slojeva. Dosta dobre i približne rezultate debljina asfaltnih slojeva ima glavna ulica, ali na toj dionici ima najmanje uzoraka za analizu.

#### Granulometrijski sastav asfaltnih slojeva

Provedeno je 7 ispitivanja granulometrijskog sastava materijala habajućeg asfaltnog sloja na gradskoj magistrali. Materijal je homogen kada je u pitanju udio filera. Kada je posrijedi udio pijeska, izdvajaju se dva homogena poteza:

1. homogen potez 1: uključuje uzorke na potezu od km 0+000 do km 0+700,
2. homogen potez 2: uključuje uzorke na potezu od km 0+700 do 3+013.

Statistički pokazatelji prikazani su u tablici 6. Promatrajući sve frakcije koje su analizirane uočava se da su asfaltne mješavine na gradskoj magistrali homogene, jer vrijednosti koeficijenta korelacije su manje od 0.30, što nam govori o homogenosti materijala.

Na gradskoj prometnici ispitano je ukupno pet uzoraka za određivanje granulometrijskog sastava habajućeg asfaltnog sloja. Rezultati statističkih ispitivanja gradske prometnice prikazani su u tablici 7. Materijal je homogen kada je u pitanju količina pijeska i kamene sitneži. Promatrajući filer, izdvajaju se dva homogena poteza:

1. homogeni potez 1: uključuje uzorke na potezu od km 0+000 do km 0+300
2. homogeni potez 2: uključuje uzorke na potezu od km 0+300 do km 1+103.

Tablica 9. Statistički pokazatelji udjela bitumena u habajućem i bitumeniziranom nosivom sloju

Statistički parametri	Gradska magistrala		Gradska prometnica		Glavna ulica	
	AB	BNS	AB	BNS	AB	BNS
Srednja vrijednost	4,43	3,89	4,20	3,67	4,13	3,38
Standardna devijacija	0,99	0,21	0,14	0,22	0,75	0,10
Koeficijent varijacije	0,22	0,06	0,03	0,06	0,18	0,03
Minimalni	1,65	3,61	4,10	3,55	3,70	3,30
Maksimalni	4,97	4,17	4,30	4,17	5,00	3,50
15 - postotni percentil	4,52	3,69	4,10	3,55	3,70	3,32

Tablica 10. Statistički pokazatelji udjela šupljina u asfaltnim slojevima

Statistički parametri	Gradska magistrala		Gradska prometnica		Glavna ulica	
	AB	BNS	AB	BNS	AB	BNS
Srednja vrijednost	5,10	6,32	3,80	6,78	7,27	6,51
Standardna devijacija	0,78	2,48	1,95	2,25	1,15	0,84
Koeficijent varijacije	0,15	0,39	0,51	0,33	0,16	0,13
Minimalni	4,00	3,60	1,00	3,40	6,60	5,30
Maksimalni	6,10	16,30	6,00	11,80	8,60	8,00
15 - postotni percentil	4,30	4,52	2,08	5,33	6,60	5,62

Homogeni potez 1 filera pokazuje da su uzorci homogeni, dok na dijelu homogena poteza 2 pokazuje da uzorci nisu homogeni što pokazuje koeficijent varijacije koji je veći od 0.30.

Glavna ulica je dužine 316 m i ukupno su izvađene četiri jezgre, koje su kasnije ispitivane za utvrđivanje granulometrijskog sastava asfaltnih slojeva. Na osnovi analiziranih rezultata rađeni su statistički pokazatelji i prikazani su u tablici 8. Nakon provedene statističke analize primijećeno je da je materijal homogen za sve granulometrijske sastave.

#### Udio bitumena

Za sve kategorije gradske cestovne mreže provedeno je ispitivanje udjela bitumena u habajućem i bitumeniziranom nosivom sloju. Za gradsku magistralu je ispitano ukupno 7 uzoraka za analizu, za gradsku prometnicu je ispitano 5 uzoraka, a za glavnu ulicu ispitana su četiri uzorka. Statistički podaci o udjelu bitumena u habajućem asfaltnom sloju (AB) i bitumeniziranom nosivom sloju (BNS) prikazani su u tablici 9.

Nakon analiziranih rezultata o udjelu bitumena, zaključeno je da srednja vrijednost toga udjela iznosi više od 4 % za asfaltno slojeve, što predstavlja prihvatljivu količinu bitumena za habajući asfaltni sloj koji je AB 16s. Na gradskoj magistrali vidimo da jedan uzorak ima znatno smanjen udio bitumena koji iznosi 1.65, a kada promatramo 15 postotnu percentilnu vrijednost udjela bitumena vidimo da je na gradskoj magistrali dosta dobra, tj. veća je od 4 %. Problem se mali javlja kod glavne ulice gdje je 15 postotna percentilna vrijednost manja od 4 %. Pretpostavlja se da je nosivost asfaltnih slojeva znatno slabija, gdje će to biti prikazano u dijelu nosivosti kolničke

konstrukcije primjenom FWD. Bitumenizirani nosivi sloj ima vrijednosti udjela bitumena od 3,38 do 3,89 %, a svi su analizirani materijali homogeni, jer su vrijednosti koeficijenta varijacije znatno manje od 0,30.

#### Udio šupljina

Količina odnosno udio šupljina u asfaltnim slojevima određen je normom SRPS EN 12697-8. Vrijednosti statističke obrade podataka prikazane su u tablici 10. Iz tablice se uočava da gradska magistrala i glavna ulica imaju homogene uzorke kod asfaltbetona (AB), odnosno kod habajućeg sloja, dok uzorci kod gradske prometnice nisu homogeni. Donji asfaltni sloj/bitumenizirani nosivi sloj (BNS) 32sA homogen je samo kod glavne ulice, dok kod gradske magistrale i gradske prometnice uzorci nisu homogeni. Uočen je veliki raspon udjela šupljina u BNS u odnosu na AB za sve gradske cestovne mreže koje su ovdje analizirane.

#### Zbijenost asfaltnog sloja

Kod ispitivanja asfaltnih slojeva također je bitna i zbijenost uzorka. Nakon ispitivanja rađena je statistička obrada podataka kako bi se uvidjela homogenost uzoraka i srednja vrijednost kao i 15-postotna percentilna vrijednost uzoraka koji su analizirani. Vrijednosti statističkih pokazatelja prikazane su u tablici 11. Primijećeno je da asfaltbeton kod gradske magistrale nije samo homogen, dok su ostali slojevi na svim analiziranim cestovnim mrežama homogeni kako kod AB tako i kod BNS. Najmanja vrijednost i loša zbijenost je određena kod AB na gradskoj magistrali, jer vidi se da je srednja vrijednost 83.87 %, a da je 15 - postotna percentilna vrijednost 75.18 %.



Tablica 11. Statistički pokazatelji zbijenosti u asfaltnim slojevima

Statistički parametri	Gradska magistrala		Gradska prometnica		Glavna ulica	
	AB	BNS	AB	BNS	AB	BNS
Srednja vrijednost	83,87	98,69	100,10	98,53	97,67	98,21
Standardna devijacija	38,54	2,49	0,94	2,44	1,27	0,62
Koeficijent varijacije	0,46	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
Minimalni	5,20	88,60	99,00	92,70	96,20	97,20
Maksimalni	100,60	101,10	101,60	102,70	98,40	99,20
15-postotni percentil	75,18	98,82	99,48	97,39	96,86	97,74

### 3.3. Oštećenje površine

Oštećenja površine kolnika za sve analizirane dionice utvrđena su obilaskom trase i detaljnim snimanjem a potom su razvrstana po intenzitetu i tipu oštećenja. Na gradskoj magistrali uočene su ukupno četiri homogene dionice, pri čemu je uočeno sljedeće:

- homogena dionica 1 zastupljena je od km 0+000 do km 0+501, gdje nisu zabilježena nikakva oštećenja, odnosno kolnik je presvučen tankim habajućim slojem novijeg datuma, bez formiranih oštećenja na površini kolnika;
- homogena dionica 2 je od km 0+501 do km 1+114, gdje prevladavaju mrežaste aligator-pukotine niskog do srednjeg intenziteta, popraćene poprečnim pukotinama srednjeg intenziteta; također su zastupljena i oštećenja zakrpe i kolotrazi, ali srednjeg intenziteta i manjeg opsega;
- homogena dionica 3 je od km 1+114 do km 2+325, gdje prevladavaju mrežaste aligator-pukotine srednjeg do visokog intenziteta, popraćene poprečnim pukotinama srednjeg intenziteta. Također su zastupljena i oštećenja zakrpe i kolotrazi ali srednjeg intenziteta i manjeg opsega;
- homogena dionica 4 se kreće od km 2+325 do km 3+013, gdje prevladavaju mrežaste aligator-pukotine niskog do srednjeg intenziteta, a također se javljaju poprečne i uzdužne pukotine niskog intenziteta u dosta manjem postotku u odnosu na mrežaste aligator-pukotine.

Analizom tipa i oštećenja površine kolnika dolazi se do zaključka da asfaltni slojevi imaju srednji kapacitet nosivosti kolnika. Gradska prometnica ima ukupno dvije homogene dionice i sadrži sljedeća oštećenja:



Slika 7. Mrežaste aligator-pukotine visokog intenziteta (lijeva slika) i zakrpe srednjeg intenziteta (desna slika)

- homogena dionica 1: od km 0+000 do km 0+227, na kojoj nisu zastupljena oštećenja. Na toj homogenoj dionici primijećeno je redovito održavanje, tj. presvlačenje habajućeg sloja,
- homogena dionica 2: od km 0+227 do km 1+103, na kojoj su zastupljene u većem postotku mrežaste aligator-pukotine (srednjeg i visokog intenziteta) i zakrpe (srednjeg intenziteta), dok su poprečne pukotine (srednjeg intenziteta) i kolotrazi (srednjeg intenziteta) zastupljeni u znatno manjem postotku. Karakteristična oštećenja za tu homogenu dionicu prikazana su na slici 7.



Slika 8. Udarne rupe visokog intenziteta, gdje su u okolini zastupljene mrežaste aligator-pukotine

Na osnovi rezultata istraživanja uočeno je da površina kolnika nema odgovarajuću nosivost. Glavna ulica sadrži jednu homogenu dionicu koja ima veliki postotak mrežastih aligator-pukotina, mrežastih blok-pukotina (srednjeg do visokog intenziteta), kao i zakrpe (srednjeg intenziteta). Mali postotak zastupljenosti oštećenja na toj dionici predstavljaju zakrpe (srednjeg intenziteta), poprečne i uzdužne pukotine (srednjeg do visokog intenziteta) i udarne rupe (visokog intenziteta). Udarne rupe visokog intenziteta prikazane su na slici 8.

Analizom tipa oštećenja, kao i zastupljenosti na površini kolnika, dolazi se do zaključka da asfaltni slojevi nemaju dovoljnu nosivost.

### 3.4. Strukturno - mehanička svojstva kolnika

Struktura mehaničkih svojstava kolnika ispitana je pomoću deflektometra s padajućim teretom (*Dynatest FWD - Falling Weight Deflectometer*). Mjerenje defleksija (*FWD-om*) obavljeno je na sedam geofona, na razmacima od 0, 300, 600, 900, 1200, 1500 i 1800 mm, nanošenjem sile od 50 kN na kružnu ploču promjera 300 mm koja je postavljena na površinu kolnika. Opterećenjem je postignut kontaktni napon od 0,707 MPa. Tijekom mjerenja defleksija obavljeno je mjerenje temperature asfaltnih slojeva u kolničkoj konstrukciji, koja je iznosila oko 21°C za gradsku magistralu, odnosno 23°C za gradsku prometnicu, kao i za glavnu ulicu. Za podjelu na homogene dionice po parametru deformabilnosti primijenjena je metoda kumulativnih razlika prema smjernicama (*AASHTO GUIDE for DESIGN of Pavement Structures*). Za svaku homogenu dionicu određena je prosječna vrijednost defleksije i karakteristična 85-postotna vrijednost.

Radi podjele na homogene dionice po deformabilnosti i dobivanja što jasnije slike o trenutnačnom stanju i preostaloj nosivosti kolnika, provedena je usporedna analiza tri parametra koja upućuje na:

- krutost asfaltnih nosivih slojeva, što je izraženo razlikom defleksija na sensorima  $d_0$  i  $d_{300}$  ( $SCI_{300}$ ),
- kvalitetu posteljice, što je izraženo preko defleksije na senzoru  $d_{1500}$  za gradsku magistralu, odnosno  $d_{900}$  za gradsku prometnicu i  $d_{600}$  za glavnu ulicu,
- ukupnu krutost kolničke konstrukcije izraženo je preko defleksije  $d_0$

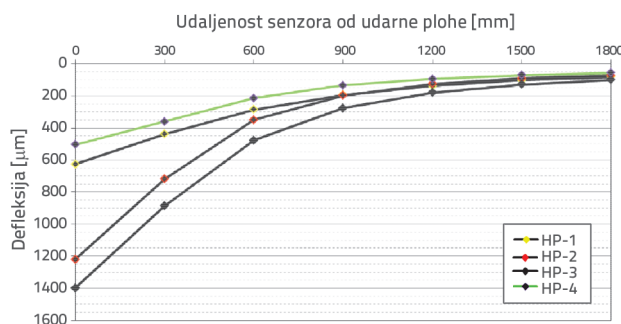
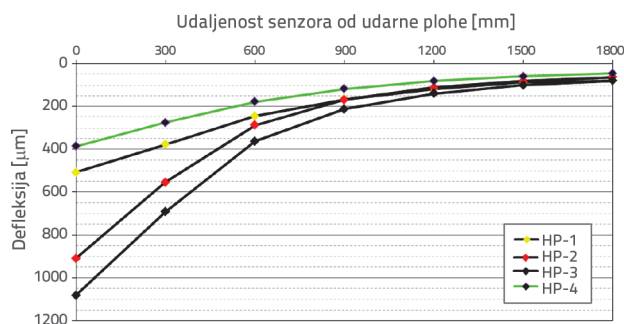
Ocjena stanja nosivosti vezanih slojeva kolničke konstrukcije vrijednosti ( $SCI_{300}$ ) ( $d_0$  i  $d_{300}$ ) klasificirana je prema kriterijskim vrijednostima iz (*COST Action*) 354 – Indikatori stanja kolničkih konstrukcija u Europi, a koji su prikazani u tablici 12.

Tablica 12. Kriterijske vrijednosti vezanih slojeva kolničke konstrukcije prema (*COST Action*) 354 [11]

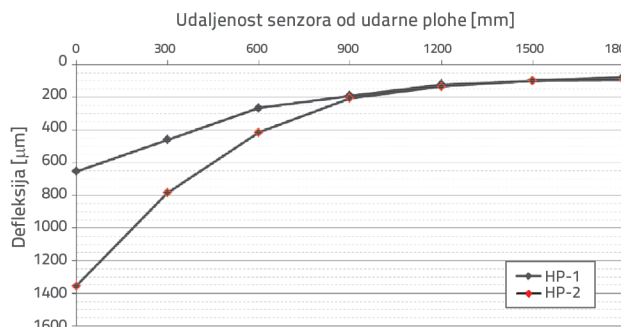
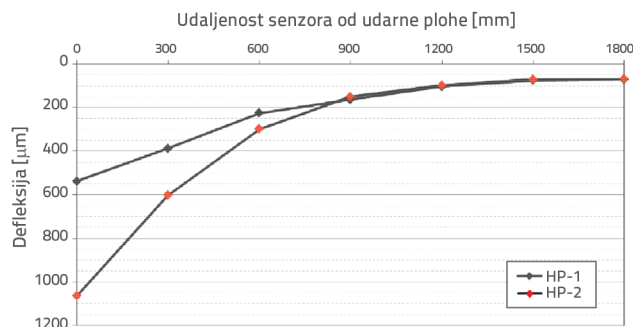
Naziv klase stanja	Oznaka klase	$SCI_{300}$ (1/1000 mm) za kolnike s nosivim slojevima male nosivosti
Vrlo dobro	I	<129
↓	II	od 129 do 258
	III	od 258 do 387
	IV	od 387 do 516
Vrlo loše	V	>516

Na osnovi svega prikazanog, na slici 9. je dan prikaz defleksivnih bazena homogenih dionica po parametru deformabilnosti za gradsku magistralu. Zaključuje se da postojeći asfaltni slojevi na gradskoj magistrali na homogenoj dionici 3 ( $SCI_{300} = 389$ ) pripadaju klasi IV, dok dionica 2 ( $SCI_{300} = 356$ ) pripada klasi II. Homogena dionica 4 ( $SCI_{300} = 111$ ) pripada klasi I, odnosno vrlo dobroj klasi, a dionica 1 ( $SCI_{300} = 130$ ) ubraja se u klasu II za magistralnu cestovnu mrežu.

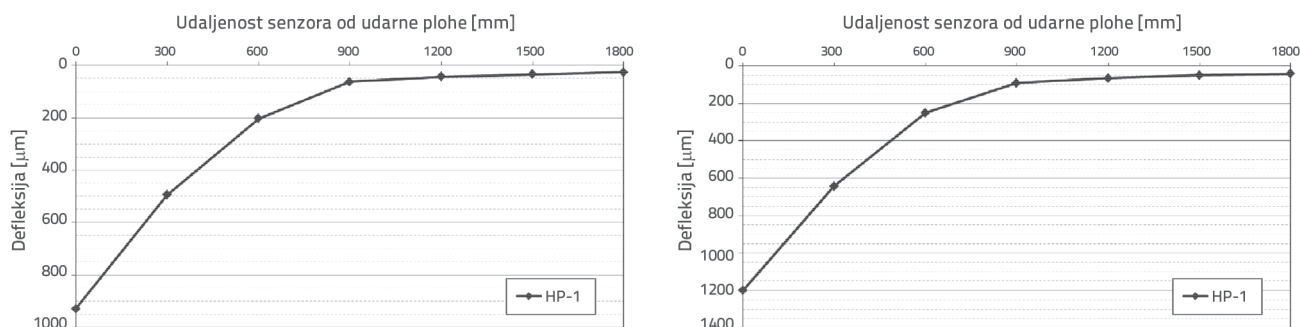
Slika 10. prikazuje defleksivne bazene za gradsku prometnicu. Uočava se da gradska prometnica pripada klasi II, i to homogena dionica 1 ( $SCI_{300} = 150$ ), a homogena dionica 2 ( $SCI_{300} = 462$ ) pripada klasi IV.



Slika 9. Defleksivni bazeni srednje vrijednosti (lijevo) i 85-postotna vrijednost (desno) za gradsku magistralu



Slika 10. Defleksivni bazeni srednje vrijednosti (lijevo) i 85-postotna vrijednost (desno) za gradsku prometnicu



Slika 11. Defleksivni bazeni srednje vrijednosti (lijevo) i 85-postotna vrijednost (desno) za glavnu ulicu

Na slici 11. prikazani su defleksivni bazeni sekundarne gradske cestovne mreže. Glavna ulica ima jedan homogeni potez ( $SCI_{300} = 434$ ) i on pripada klasi IV, na osnovi kriterija vrijednosti koji su preuzeti iz (*COST Action*) 354 [12].

### 3.5. Prometno opterećenje

Prometno opterećenje ima dvostruku ulogu na kolničku konstrukciju:

- izaziva zamor – prekoračenje elastične deformacije u donjem dijelu asfaltnog sloja što rezultira pojavom pukotina i gubitka nosivosti,
- dovodi do pojave plastične deformacije asfaltnih slojeva, posebno pod utjecajem visokih temperatura, malih brzina i velikog osovinskog opterećenja.

Osnovno opterećenje kolničke konstrukcije u gradskim prometnicama potječe od autobusa gradskog putničkog prijevoza i kamiona, koji se susreću na nekim gradskim dionicama. Faktori ekvivalencije ( $F_e$ ) izračunani su na osnovi tipa vozila i opterećenosti prema provedenom brojanju prometa. Proračun očekivanog ekvivalentnog prometnog opterećenja proveden je za idućih 10 godina, uz pretpostavku da ima godišnji rast prometa. Na osnovi svega navedenog i pomoću normi SRPS U.C4.010 [10], dobiva se da ekvivalentno prometno opterećenje iznosi:

- $2,5 \times 10^6$  standarnih osovina (80 kN) za gradsku magistralu,
- $1,5 \times 10^6$  standarnih osovina (80 kN) za gradsku prometnicu,
- $7,5 \times 10^5$  standarnih osovina (80 kN) za glavnu ulicu.

## 4. Mjere rekonstrukcije za gradske prometnice

Nakon prikazanih svih podataka dolazi se do usvajanja rješenja, kako bi se izvela rekonstrukcija kolničkih konstrukcija u gradu. Rekonstrukcija kolničke konstrukcije po sadržaju radova može biti jedna od sljedećih kategorija:

- popravci većeg broja oštećenja (bez tretmana površine, bez pojačanja),
- tretman površine kolnika – vrlo tanki sloj za osiguranje sposobnosti trenja površine kolnika, s prethodnim popravcima određenih tipova lokalnih oštećenja kolnika,
- pojačanje s prethodnim popravcima određenih tipova lokalnih oštećenja kolnika,
- djelomična rekonstrukcija,
- potpuna rekonstrukcija.

Učinci pojedinih kategorija rekonstrukcije prikazani su u tablici 13. Na osnovi utvrđenog stanja kolničke konstrukcije usvojena je strategija njezine rekonstrukcije, odnosno usvojena je djelomična rekonstrukcija koja predviđa zamjenu određenih slojeva postojeće kolničke konstrukcije. U sva tri prikazana slučaja prometnica, postojeći asfaltni slojevi su uklonjeni zbog velike oštećenosti i nepovoljnih fizikalno - mehaničkih karakteristika, odnosno primijenjene su mjere djelomične rekonstrukcije kolnika po homogenim dionicama. Nakon izvršene analize, u tablici 14. je prikazan proračun parametara gradske magistrale postojeće kolničke konstrukcije, njezini moduli i efektivni strukturni broj.

Tablica 13. Učinci pojedinih kategorija rekonstrukcije

Kategorija rekonstrukcije	Štiti integritet strukture	Popravci svojstava trenja	Popravljiva ravnost	Osigurava potrebnu trajnost – kapacitet nosivosti
Popravci	+			
Tretman površine	+	+		
Pojačanje	+	+	+	+
Djelomična rekonstrukcija	+	+	+	+
Totalna rekonstrukcija		+	+	+

**Tablica 14. Prikaz proračuna parametara gradske magistrale postojeće kolničke konstrukcije**

Homogena dionica (HD)	Modul postojeće kolničke konstrukcije $E_p$ [MPa]	Efektivni strukturni broj $SN_{eff}$ [cm]
HD-1	560	7,0
HD-2	157	6,4
HD-3	144	6,8
HD-4	664	10,3

Debljine pojačanja kolničke konstrukcije su određene na osnovi razlike između efektivnog i potrebnog strukturnog broja kolničke konstrukcije po homogenim dionicama u skladu s definiranim uvjetima odvijanja gradskog prometa. Efektivni strukturni broj je određen na osnovi ukupne debljine kolničke konstrukcije i modula postojeće kolničke konstrukcije. Potreban strukturni broj izračunan je pomoću (*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*) prema normi SRPS U.C4.015 [13]. Potom je utvrđena razlika između potrebnog strukturnog broja i efektivnog strukturnog broja, gdje je dobivena delta potrebnog strukturnog broja, pri čemu se dijeli s koeficijentom za asfaltna slojeve (0,38) i dobiva se debljina asfaltnih slojeva koji su potrebni

za pojačanje kolničke konstrukcije. Vodio se računa o mjeri uklanjanja asfaltnih slojeva i također se gledalo da se zadrži postojeća niveleta. Kada se to sve uzelo u obzir, dobiveni su rezultati debljine asfaltnih slojeva za kolničke konstrukcije, gdje je uočeno da je na nekim mjestima izveden samo popravak, a na nekim mjestima i rekonstrukcija ovisno o homogenom potezu. Asfaltni slojevi nisu imali dovoljnu nosivost, što je utvrđeno nedestruktivnom metodom, tj. ispitivanjem FWD-a. U tablici 15. prikazani su usvojeni parametri koje norma propisuje i na osnovi tih parametara, izračunan je potrební strukturni broj. Na kraju tablice 15. prikazana je potrebna debljina pojačanja kolničke konstrukcije.

**Tablica 16. Prikaz proračuna parametara gradske prometnice (GS) i glavne ulice (SU) postojeće kolničke konstrukcije**

Homogena dionica (HD)	Modul postojeće kolničke konstrukcije $E_p$ [MPa]	Efektivni strukturni broj $SN_{eff}$ [cm]
GS-1	664	10,3
GS-2	296	7,9
SU-1	115	5,2

**Tablica 15. Potrební strukturni broj  $SN_{pot}$  na osnovi norme SRPS U.C4.015 na gradskoj magistrali**

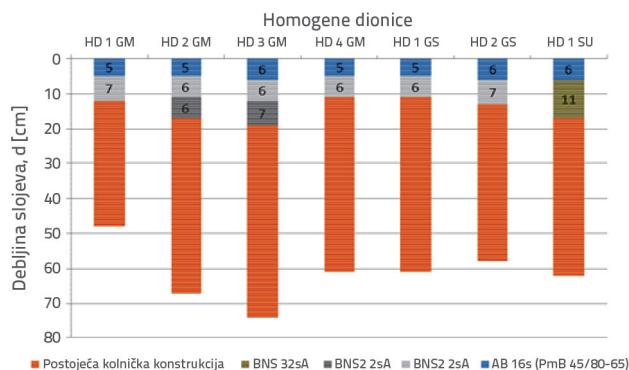
	HD-1	HD-2	HD-3	HD-4
Ekvivalentno prometno opterećenje ( $ESO_{80}$ )	$2,5 \times 10^6 ESO_{80}$			
Pouzdanost (R [%])	90			
Standardno normalno odstupanje ( $Z_r$ )	-1,282			
Standardno odstupanje ( $S_o$ )	0,45			
Početni indeks vozne sposobnosti kolnika ( $p_o$ )	4,2			
Krajnji indeks vozne sposobnosti kolnika ( $p_k$ )	2,0			
Pad indeksa vozne sposobnosti na kraju projektnog perioda ( $\Delta p$ )	2,2			
Rezilijentni modul posteljice ( $M_r$ [MPa])	25	25	15	20
Potreban strukturni broj ( $SN_{pot}$ [cm])	12,1	12,1	14,0	14,2
Debljina pojačanja ( $d_{pot}$ [cm])	13,0	15,0	19,0	10,0

**Tablica 17. Potrební strukturni broj  $SN_{pot}$  na osnovi norme SRPS U.C4.015 na gradskoj prometnici (GS) i glavnoj ulici (SU)**

	GS-1	GS-2	SU-1
Ekvivalentno prometno opterećenje ( $ESO_{80}$ )	$1,5 \times 10^6 ESO_{80}$		$7,5 \times 10^5 ESO_{80}$
Pouzdanost (R [%])	90		90
Standardno normalno odstupanje ( $Z_r$ )	-1,282		-1,282
Standardno odstupanje ( $S_o$ )	0,45		0,44
Početni indeks vozne sposobnosti kolnika ( $p_o$ )	4,2		4,2
Krajnji indeks vozne sposobnosti kolnika ( $p_k$ )	2,0		2,5
Pad indeksa vozne sposobnosti na kraju projektnog perioda ( $\Delta p$ )	2,2		-
Rezilijentni modul posteljice ( $M_r$ [MPa])	20	25	50
Potreban strukturni broj ( $SN_{pot}$ [cm])	14,2	12,1	9,1
Debljina pojačanja ( $d_{pot}$ [cm])	10,0	11,0	13,0

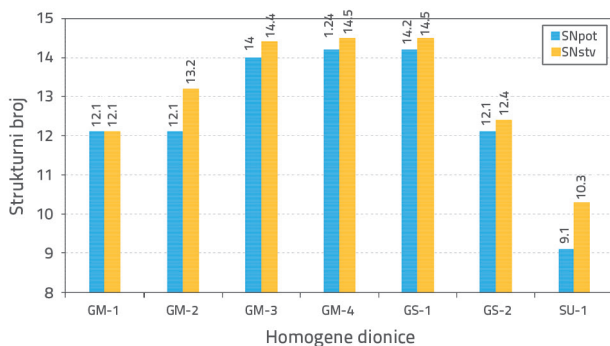
Isti postupak proračuna rađen je i za gradsku prometnicu i za glavnu ulicu. Izračunane vrijednosti potrebnih podataka, odnosno efektivnog strukturnog broja (tablica 16.), i potrebna debljina pojačanja kolničke konstrukcije prikazani su u tablici 17.

Usvojene mjere slojeva, kao i vrste novih slojeva podijeljeni po homogenim dionicama i vrstama gradske cestovne mreže, prikazani su na slici 12.



Slika 12. Prikaz načina rekonstrukcije kolničkih konstrukcija u gradu

Najopsežniji radovi izvedeni su na gradskoj magistrali na dvije homogene dionice. Uočeno je da asfaltbeton ima jaku nisku zbijenost i na osnovi toga se pojavljuju značajna oštećenja u obliku kolotruga srednjeg intenziteta. Također je uočena i loša nosivost na homogenim dionicama 2 i 3, gdje se radi djelomična obnova. Uočeno je da sloj od granuliranog materijala – pjeskovitog šljunkovitog materijala frakcije 0/31,5 mm i 0/63 mm ima dobre karakteristike nosivosti. Gradska prometnica ima slabu nosivost asfaltnih slojeva prema rezultatima koji su dobiveni FWD-om, odnosno obje homogene dionice. Oštećenja su znatno veća na homogenoj dionici 2 i na tom se dijelu dodaje deblji asfaltbeton i deblji sloj bitumeniziranog nosivog sloja. Na glavnoj ulici izvedeno je znatno pojačanje kolničke konstrukcije, jer su vrijednosti nosivosti male i definirana oštećenja upozorila su na znatne promjene. Za tu dionicu predloženo je znatno pojačanje sloja BNS-a i AB.



Slika 13. Vrijednosti stvarnog i potrebnog strukturnog broja

Kao dokaz cjelokupnog istraživanja dopunsko je rađena provjera kojom se određuje stvarni strukturni broj, odnosno izračunano nakon ojačanja kolničke konstrukcije i dobivene vrijednosti prikazane su na slici 13. Sa slike se uočava da je stvarni strukturni broj je veći ili jednak potrebnom strukturnom broju, pa se zaključuje da je ispunjen uvjet pojačanja kolničke konstrukcije s predviđenim asfaltnim slojevima.

Rješenja su zasnovana na utvrđenom stanju kolnika, periodu daljnje uporabljivosti za koji se želi osposobiti kolnik (10 godina), odnosno na rezultatima analiza i proračuna za pojačano održavanje kolničkih konstrukcija. Na slici 12. je dan prikaz pojačanja kolničke konstrukcije po homogenim potezima koji su definirani na osnovi nosivosti i oštećenja koja su zabilježena na terenu. Usvojeno je da se radi asfaltbeton 16s (PmB 45/80-65) na svim analiziranim dionicama, a donji nosivi asfaltni slojevi se uglavnom rade od BNS 22sA, dok je na sabirnoj ulici usvojen BNS 32sA. Debljina slojeva je shematski prikazana i iznosi od 5 do 6 cm za AB, dok BNS 22sA je debljine od 6 do 7. Na glavnoj ulici je primijenjen sloj BNS 32sA ukupne debljine 11 cm.

## 5. Zaključak

Rad se zasiva na analizama nosivosti kolničkih konstrukcija koje se primjenjuju u gradskoj cestovnoj mreži, na osnovi ispitivanih materijala koji su uzeti sa dionice i uočenih oštećenja vizualnim pregledom. Nakon prikupljenih podataka određuju se najbolje mjere rehabilitacije/rekonstrukcije dionice za određeno uporabno razdoblje. Na osnovi svega prikazanog zaključuje se:

- Mjerenjem defleksija dobivene su određene smjernice za usvajanje slojeva kolničke konstrukcije.
- Karakteristike ispitivanih materijala potvrdile su nosivosti kolničke konstrukcije. Utvrđeno je da asfaltni slojevi imaju znatno lošija svojstva u odnosu na granulirani pjeskovito šljunkovit materijal frakcije 0/31,5 i 0/63 mm.
- Vizualni pregled oštećenja pokazuje da su podaci o nosivosti točni, a također i da slojevi asfalta imaju loše karakteristike na određenim mjestima zbog pojave mrežastih aligator-pukotina, kolotruga, poprečnih i uzdužnih pukotina i pojavom udarnih rupa visokog intenziteta.
- Analiza je provedena prema (*AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures*), pri čemu je dobivena konačna ocjena o nosivosti svih dionica i karakterističnih poteza s jasno definiranom idejom o mehaničkom ponašanju određenih modaliteta kolničke konstrukcije.
- Debljine pojačanja kolničke konstrukcije su određene na osnovi razlike između efektivnog i potrebnog strukturnog broja kolničke konstrukcije po homogenim dionicama u skladu s definiranim uvjetima odvijanja gradskog prometa.
- U sva tri prikazana slučaja prometnica, postojeći asfaltni slojevi su uklonjeni zbog velike oštećenosti i nepovoljnih

fizikalno - mehaničkih karakteristika, odnosno primijenjene su mjere djelomične i potpune rekonstrukcije kolnika po homogenim dionicama.

- Nakon toga je utvrđena strategija rekonstrukcije kolničkih konstrukcija u gradovima.
- Ispunjeni su uvjeti da je potrební strukturni broj veći ili jednak stvarnom strukturnom broju i da su predloženi asfaltni slojevi za pojačanje dobro pokazali predviđenu nosivost.

Općeniti se zaključak zasniva na tome da se je prikazana strategija, odnosno metoda pojačanog održavanja kolničkih konstrukcija u gradovima, potvrdila učinkovitom u praksi kroz analizirane dionice.

## Zahvala

U radu je predstavljen dio istraživanja koja se obavljaju u okviru projekata TR 36017, a financira ih Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Radović, N., Šešlija, M., Peško, I.: Ekspertne projektne analize u procesu gospodarenja održavanjem cesta, GRAĐEVINAR, 65 (2013) 7, pp. 641-652.
- [2] Šešlija, M., Radović, N.: Odabrana poglavlja iz planiranja i projektovanja gradskih saobraćajnica, Prvo izdanje, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2017.
- [3] Radović, N., Šešlija, M.: Upravljanje putnom mrežom, Prvo izdanje, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2017.
- [4] Pradena, M., Houben, L.: Functional criteria for sustainable design of urban pavements, GRAĐEVINAR, 68 (2016) 6, pp. 485-492, <https://doi.org/10.14256/JCE.1464.2015>
- [5] Radović, N., Jokanović, I., Matić, B., Šešlija, M.: A measurement of roughness as indicator of road network condition – case study Serbia, TECHNICAL GAZETTE, 23 (2016) 3, pp. 881-884.
- [6] Radović, N., Mirković, K., Šešlija, M., Peško, I.: Output and performance based road maintenance contracting – case study Serbia, TECHNICAL GAZETTE, 21 (2014) 3, pp. 681-688.
- [7] Sršen, M.: Autmoatski analizator cesta – ARAN, GRAĐEVINAR, 54 (2002) 5, pp. 275-283.
- [8] Sršen, M., Kršić, I., Domandžić, D.: Gospodarenje županijskim cestama primjenom HDM-4 modela, GRAĐEVINAR, 54 (2002) 1, pp. 23-30.
- [9] Ahmed, M.U., Tarefder, R.A.: Incorporation of GPR and FWD into pavement Mechanistic-Empirical design, Construction and Building Materials, 154 (2017), pp. 1272-1282.
- [10] Bennett, C.R., Chamorro, A., Chen, C., Solminihac, H., Flintsc, G.W.: Data Collection Technologies for Road Management, The World Bank Washington, 2007.
- [11] COST Action 354 – Performance Indicators for Road Pavements, The way forward for pavement performance indicators across Europe, Final Report, 2008
- [12] SRPS U.C4.010: Projektovanje i građenje puteva – Određivanje ukupnog ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja za dimenzionisanje asfaltnih kolovoznih konstrukcija, Institut za standardizaciju, Beograd, 1981.
- [13] SRPS U.C4.015: Projektovanje i građenje puteva – Dimenzionisanje novih fleksibilnih kolovoznih konstrukcija, Institut za standardizaciju, Beograd, 1994.