

## ПРИМЕНА ГЕОМРЕЖА ЗА РЕХАБИЛИТАЦИЈУ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

Љиљана Тривић, дипл. инж. грађ.  
Коридори Србије д.о.о., Београд, lj.trivic@koridorisrbije.rs

Милица Бугарчић, инж. грађ, студент мастер студија  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет, bugjli44@gmail.com

др Горан Младеновић, дипл. инж. грађ.  
Универзитет у Београду, emladen@imk.grf.bg.ac.rs

Стручни рад

**Резиме:** Геомреже се већ дуже време примењују у пројектима рехабилитације коловозних конструкција са циљем да се успори рефлектовање пукотина из постојеће коловозне конструкције. У раду су приказани резултати праћења стања оштећености опитне деонице на Булевару кнеза Александра Карађорђевића у Београду на чијем делу су током 2003. године приликом рехабилитације коловозне конструкције урађене геомреже у возној траци.

Снимање оштећености коловозне конструкције обављено је у три наврата, 2005., 2008. и 2013. године. У оквиру анализе резултата може се закључити:

- да је обим пукотина у возној траци на левом коловозу (са мрежама) знатно мањи од обима пукотина у возној траци на десном коловозу (без мрежа);
- да су се на траци са мрежама пукотине касније рефлектовале и имале спорији прираст у односу на траке без мрежа, посебно у првих 5 година после рехабилитације;
- да се тренд развоја пукотина убрзава са временом.

Примена мреже на аутобуским стајалиштима није помогла да се значајније смањи дубина колотрага. Основни разлог је неадекватна позиција мреже која је постављена испод битуменизованог носећег слоја, уместо да буде постављена између битуменизованог носећег и хабајућег слоја.

**Кључне речи:** рехабилитација коловоза, геомреже, термичке и рефлектоване пукотине, колотрази.

## USE OF GEOGRIDS FOR REHABILITATION OF FLEXIBLE PAVEMENTS

Ljiljana Trivić, B.Sc.CE  
Corridors of Serbia d.o.o., Belgrade, lj.trivic@koridorisrbije.rs

Milica Bugarčić, B. CE, master student  
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, bugjli44@gmail.com

Goran Mladenović, Ph.D. B.Sc.CE  
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,  
emladen@imk.grf.bg.ac.rs

Professional paper

**Abstract:** Geogrids have been used for a long time in pavement rehabilitation projects in order to slow down the reflection of cracks from the existing pavement. This paper presents the results of an experiment performed in Belgrade in the boulevard of Prince Alexander Karađorđević, where trial section with geogrids was constructed in driving lane as part of during pavement rehabilitation project in 2003. Pavement condition surveys were performed on three occasions, in 2005, 2008, and 2013. Based on the analysis of results, it can be concluded that:

- The extent of cracking in the driving lane on the left carriageway (with geogrids) is much smaller than the extent of cracking in the driving lane on the right carriageway (without geogrids).
- The cracking on the left carriageway (with geogrids) appeared later and had slower progression compared to the right carriageway, especially in the first five years after rehabilitation
- The trend of cracking development accelerates with time.

The use of geogrid at the bus stops did not help to substantially reduce rutting. The main reason is the inadequate position of the geogrid that is placed below the bituminous base course, instead of being placed between bituminous base and surface courses.

**Key words:** pavement rehabilitation, geogrids, thermal and reflective cracking, rutting.

### 1. УВОД

Пукотине у коловозним конструкцијама се јављају услед дејства саобраћајног оптерећења (пукотине услед замора) и услед утицаја околине старења и термичких ефеката. Након рехабилитације флексибилних или крутих коловозних конструкција асфалтом, долази до рефлектовања постојећих пукотина или спојница кроз новоурађене асфалтне слојеве услед концентрације напона на локацијама пукотина у постојећем коловозу.

Арматурне мреже се користе већ неколико деценија, посебно у пројектима рехабилитације коловозних конструкција са примарним циљем да се успори рефлектовање и пропагирање пукотина из постојећих слојева и тиме продужи век коловозне конструкције. Тренутно на тржишту постоји велики број производа на бази различитих материјала: полиестера, стакла, угљеника, полипропилена и др. Ови производи се различито понашају и имају различите ефекте у погледу продужења века коловозне конструкције.

Поред тога, неки производи по наводима произвођача омогућавају и армирање самих асфалтних слојева са циљем да се смањи или елиминише пластична деформација ових слојева.

У Београду је 2003. године изведена опитна деоница са пет типова мрежа које су уграђене у оквиру пројекта рехабилитације коловозне конструкције у Булевару кнеза Александра Карађорђевића.

Циљ рада је био да се изврши додатно снимање коловозне конструкције после 10 година од њене рехабилитације, прикупе подаци о њеној оштећености и сагледају трендови развоја оштећења на делу коловозне конструкције на коме су уграђене мреже, и делу где је рехабилитација урађена без примене мрежа.

## 2. ОПШТИ ПОДАЦИ О ОПИТНОЈ ДЕОНИЦИ

Опитна деоница је изведена у Булевару кнеза Александра Карађорђевића (ранији назив: Булевар мира) који је због велике оштећености коловозне конструкције рехабилитован у јулу 2003. године на потезу од Булевара Војводе Путника до улице Милутина Ивковића (Тривић, 2005). Дужина саниране деонице је 1100 m.

У оквиру ове деонице, саобраћајница прелази преко надвожњака, испод којег се налази градилишни пут за железничку станицу „Прокоп“.

У попречном профилу се налазе по три траке у сваком смеру раздвојене разделним острвом. Укупна ширина коловоза у сваком смеру је 9,6 m. Крајња десна трака у сваком смеру је намењена за јавни градски саобраћај. На жутој траци се у смеру ка Хумској улици налазе два аутобуска стајалишта, док у смеру ка улици кнеза Милоша постоји једно аутобуско стајалиште.

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖНИХ РАДОВА ПРЕ РЕХАБИЛИТАЦИЈЕ КОЛОВОЗА 2003. ГОДИНЕ

У Булевару кнеза Александра Карађорђевића је уграђена флексибилна коловозна конструкција, с тим што је носећи слој на левом коловозу (ка центру града) урађен са цементном стабилизацијом, док се на десном коловозу (ка Бањици), на делу од ул. Топчидерски венац до ул. Милутина Ивковића (km 0+600- km 1+100), где је стари коловоз надограђен у време проширивања првобитне саобраћајнице, носећи слој састоји из невезаних слојева.

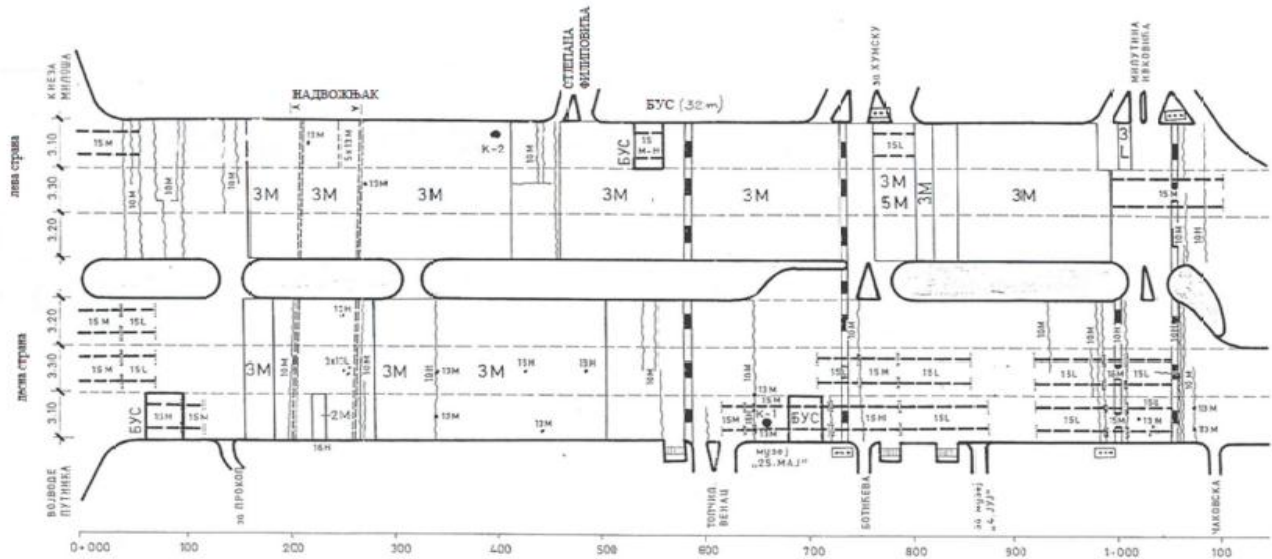
Структура коловозне конструкције добијена истражним бушењем изведеним у крајњим десним тракама коловоза приказана је у табели 1. Укупна дубина истражног бушења била је 1.5 m.

**Табела 1.** Структура коловозне конструкције пре рехабилитације

<b>К-1: стационача km. 0+660, десна страна</b>	
<b>Материјал у слоју</b>	<b>Дебљина слоја (cm)</b>
- асфалт - бетон (4+6 cm)	10
- битуменизирани шљунак	17
- битуменизирани дробљени агрегат	6
- носећи слој од песковитог шљунка са додатком дробљеног камена	44
Укупна дебљина коловозне конструкције	77
постељица: прашинаста глина	
<b>К-2: стационача km. 0+400, лева страна</b>	
<b>Материјал у слоју</b>	<b>Дебљина слоја (cm)</b>
- асфалт – бетон	6
- битуменизирани шљунак	17
- цементна стабилизација	20
- носећи слој од песковитог шљунка са додатком дробљеног камена	30
Укупна дебљина коловозне конструкције	73
постељица: прашинасто - песковита глина	

Снимање стања оштећености је урађено у складу са PCI методологијом. На левој страни коловоза доминантне су биле попречне и блок пукотине (блокови величине 0.5x0.5 – 2.0x2.0m) као резултат рефлектовања пукотина из цементне стабилизације и старења асфалтних слојева. На десној страни коловоза су били изражени колотрази. Слика 1 приказује снимак оштећења на левој и десној страни коловоза направљен пре извођења рехабилитације коловозне конструкције.

На сликама 2 и 3 приказана су доминантна оштећења на пробној деоници пре извођења рехабилитације коловозне конструкције на левом и десном коловозу, респективно.



**Легенда:**

Тип оштећења:

- 2 – испливање битумена
- 3 – блок пукотине
- 5 – попречно набирање
- 10 – подужне и попречне пукотине
- 13 – ударне рупе
- 15 – колотрази
- 16 – денивелација

Интензитет оштећења:

- L – низак
- M – средњи
- H – висок

**Слика 1.** Шематски приказ оштећења на пробној деоници пре рехабилитације (Тривић, 2005.)



**Слика 2.** Попречне и блок пукотине на левој страни коловоза пре рехабилитације (Тривић, 2005.)



**Слика 3.** Блок пукотине и колотрази на десној страни коловоза пре рехабилитације (Тривић, 2005.)

### 3.1. Рехабилитација коловозне конструкције

У јулу месецу 2003. године извршени су радови на рехабилитацији коловоза на потезу од Булевара војводе Путника до Хумске улице (Тривић, 2008.). На предметној деоници је предложен потез на којем би се уградиле геомреже ради успоравања рефлектовања пукотина из цементне стабилизације и успоравања развоја колотрага. Четири различита произвођача геосинтетичких материјала су поклонили граду Београду - Дирекцији за путеве по 500 m<sup>2</sup> свог производа, а решење санације коловозне конструкције дао је Институт за путеве. Основно решење рехабилитације се састојало у замени асфалтних слојева у дебљини од 12 cm у жутој траци и 5 cm у возној и претицајној траци. При томе је одлучено да се мреже уграде на левом коловозу (са цементном стабилизацијом). Стање површине након скидања постојећег застора у дебљини од 5 cm приказано је на слици 4.

У оквиру рехабилитације су коришћене следеће геомреже:

- Tensar International England
  - а) AR-G геокмпозит (комполит од геомреже и геотекстила);
  - б) Glasstex (неткани текстил армиран стакленим влакнима);
- Huesker Syntetic GMBH
 

HaTelit C - композит састављен од полиестерске флексибилне мреже обложене битуменском масом и танког слоја нетканог материјала;
- Armat
 

Armat мрежа од стаклених влакана;
- Kordarna-Чешка
 

Armatex RS - геокмпозит састављен од полиестарске фелксибилне мреже и нетканог текстила).



Слика 4. Стање површине након стругања застора

У табели 2 дата су решења рехабилитације коловозне конструкције. Мреже су биле уграђене на левом коловозу у средњој-возној траци са циљем да се успори рефлектовање пукотина и у жутој траци само на аутобуском стајалишту са циљем да се успори развој колотрага. На десном коловозу су примењена решења из табеле 2 без уграђивања мрежа, изузев аутобуског стајалишта на почетку деонице.

Табела 2. Решења рехабилитације кол.конструкције

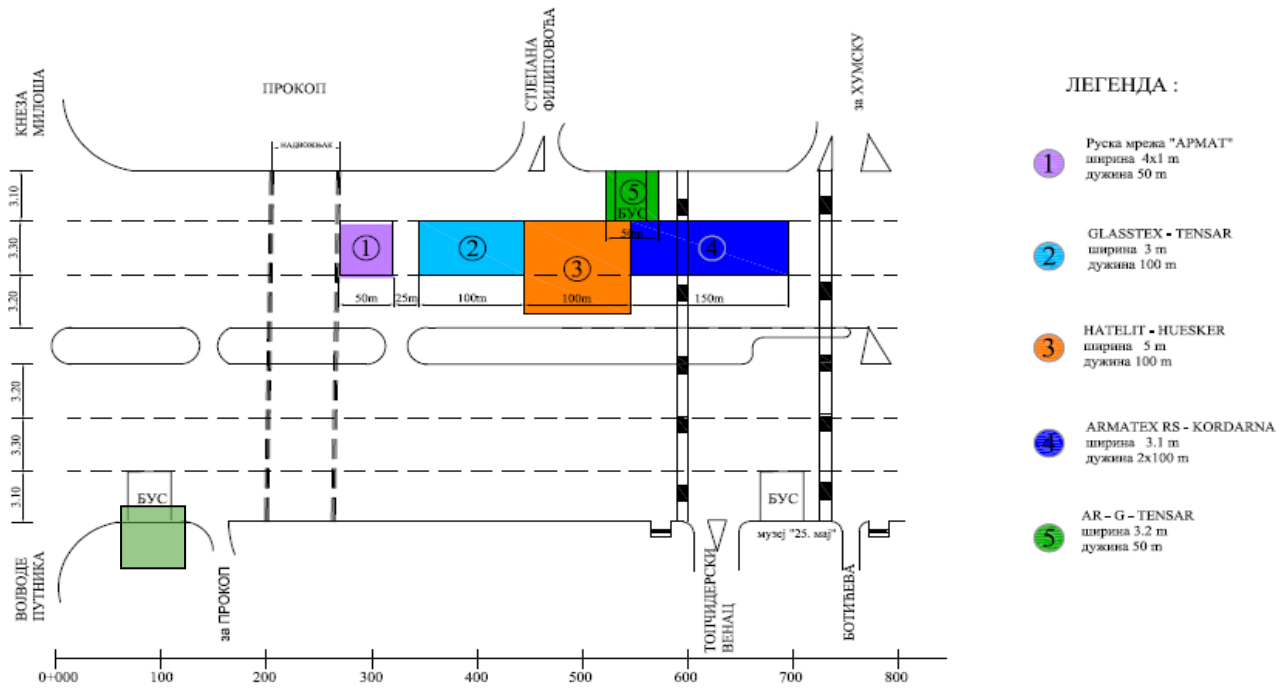
Жута трака	
Материјал у слоју	Дебљина слоја (cm)
- уградња мреже AP-Г на аутобуском стајалишту (3.2mх50m)	
- БНС 22сА	7
- АБ 11с ПмБ	5
Средња (возна) трака	
Материјал у слоју	Дебљина слоја (cm)
- уградња мрежа од сва 4 произвођача	
- АБ 11с ПмБ	5
Претицајна трака	
Материјал у слоју	Дебљина слоја (cm)
- АБ 11с ПмБ	5

На слици 5 дата је шема уграђивања мрежа, док слика 6 приказује детаље уграђивања мрежа и асфалтних слојева. Треба напоменути да приликом уградње мрежа нису испоштоване све инструкције произвођача, што се примарно односи на то да нису заливане пукотине шире од 3 mm. Мреже су постављане преко слоја емулзије, при чему су неке од мрежа додатно фиксиране за подлогу механичко-пнеуматским пиштољем и ексерима.

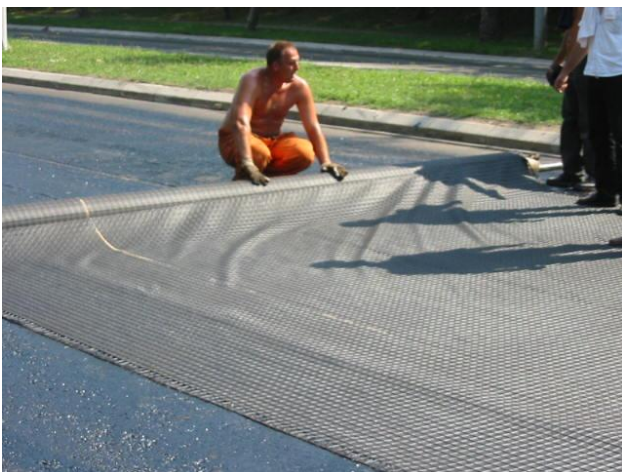
### 3.2. Праћење стања оштећености коловозне конструкције

У периоду од рехабилитације коловозне конструкције извршено је снимање стања оштећености у три наврата: 2005. године (Тривић, 2005.), 2008. године (Тривић, 2008.) и 2013. године (Бугарчић, 2013.). Уочена оштећења током ова три снимања су шематски приказана на сликама 7, 8 и 9. Приликом снимања обављеног 2005. године уочене су прве попречне (термичке или рефлектоване) пукотине. Примењено је да су пукотине израженије на деловима на којима није било геомрежа на левом коловозу, и на десној страни коловоза. На делу на којем су уграђене геомреже појавиле су се пукотине у зонама наставка једне мреже на другу у попречном правцу. Такође је уочено да пукотине напредују од разделног острва према ивичњацима.





Слика 5. Шематски приказ постављања мрежа на пробној деоници (Тривић, 2005.)



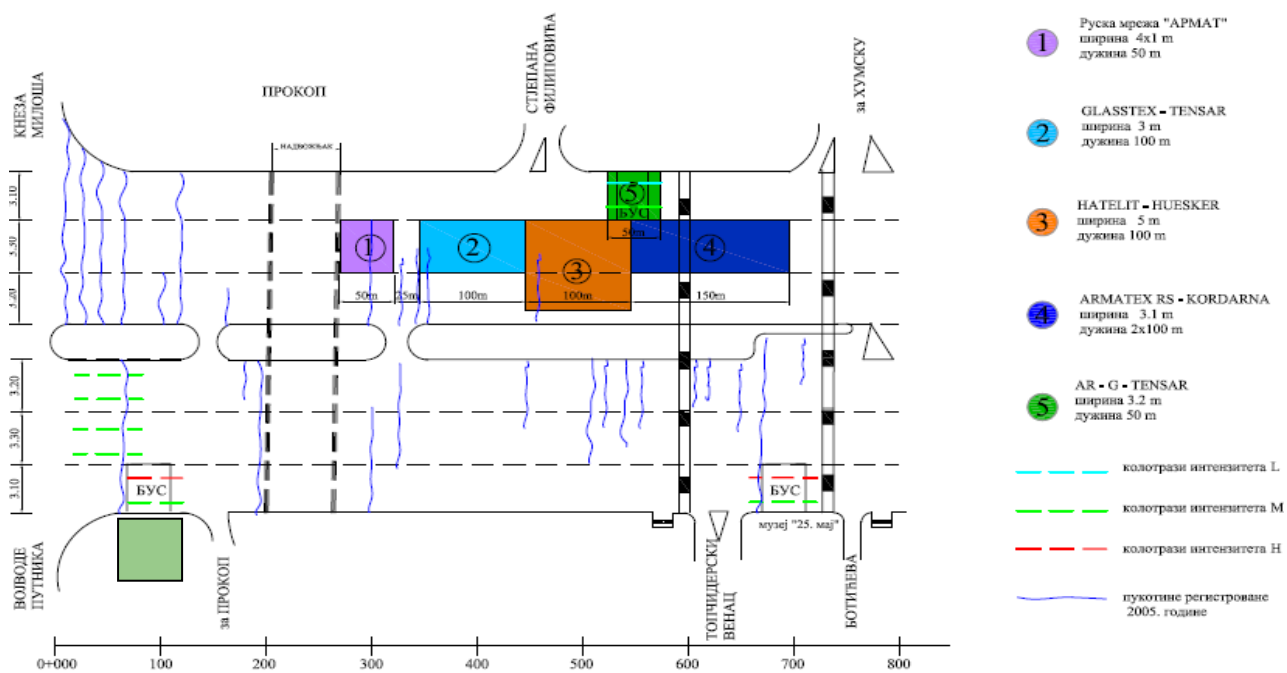
Слика 6. Детаљи постављања мрежа и уграђивања хабајућег асфалтног слоја (Тривић, 2005.)

На аутобуским стајалиштима су се појавили колотрази релативно високог интензитета. Њихова дубина је ишла чак до 2,8 cm (на станици код музеја „25. мај“, на којој није уграђена мрежа). И на аутобуској станици на којој је уграђена геомрежа појавили су се колотрази, мада мањег интензитета (дубине 2,0 до 2,2 cm). Карактеристика колотрага је била да су несиметрични - десни колотраг на сва три места је био знатно мање дубине (1,0-2,1 cm). Узрок ове појаве није познат.

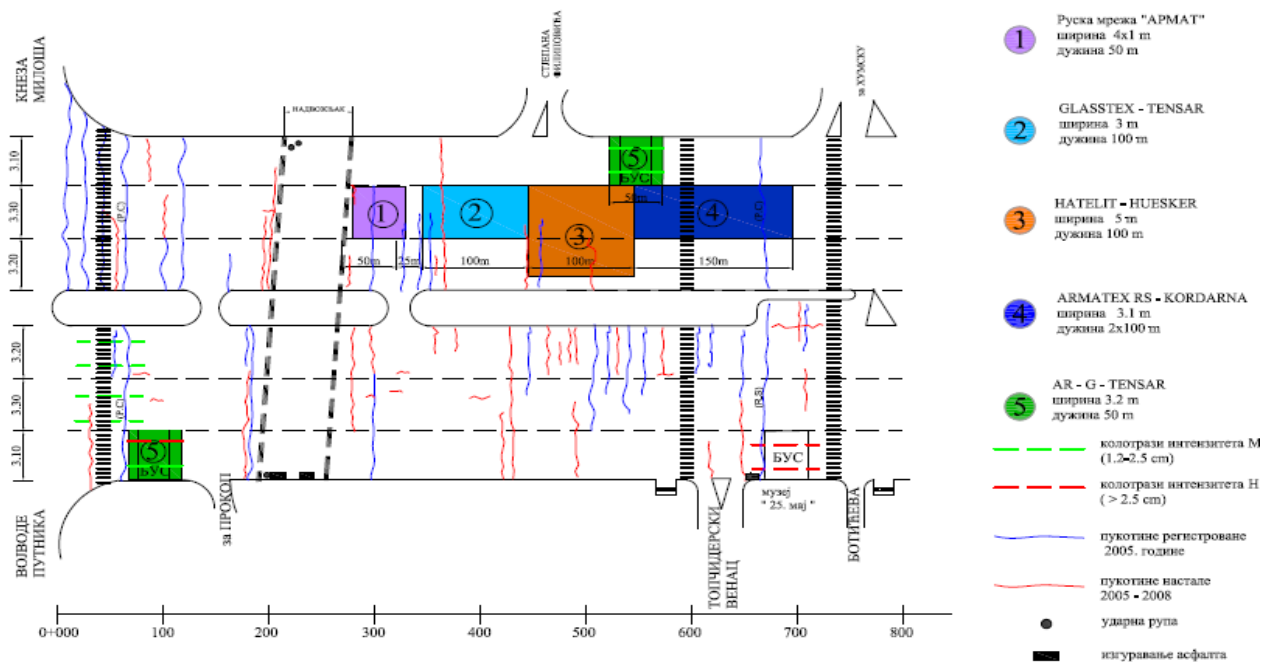
Друго контролно снимање обављено је у мају 2008. године (Тривић 2008.). Уочен је бржи развој пукотина на површинама на којима нису уграђене геомреже. На десној страни коловоза ка Хумској улици број попречних пукотина се дуплирао, а пукотине које су раније постојале развиле су се у потпуности. Додатно су се појавиле и подужне пукотине. Што се колотрага тиче, њихов интензитет је мањи тамо где су уграђене геомреже.

На станици код музеја „25. мај“ дошло је до уједначавања дубине левог и десног колотрага. На станици пре надвожњака у смеру ка Хумској интензитет колотрага је био на истом нивоу као и 2005. године. На слици 8 су нова оштећења приказана црвеном бојом.

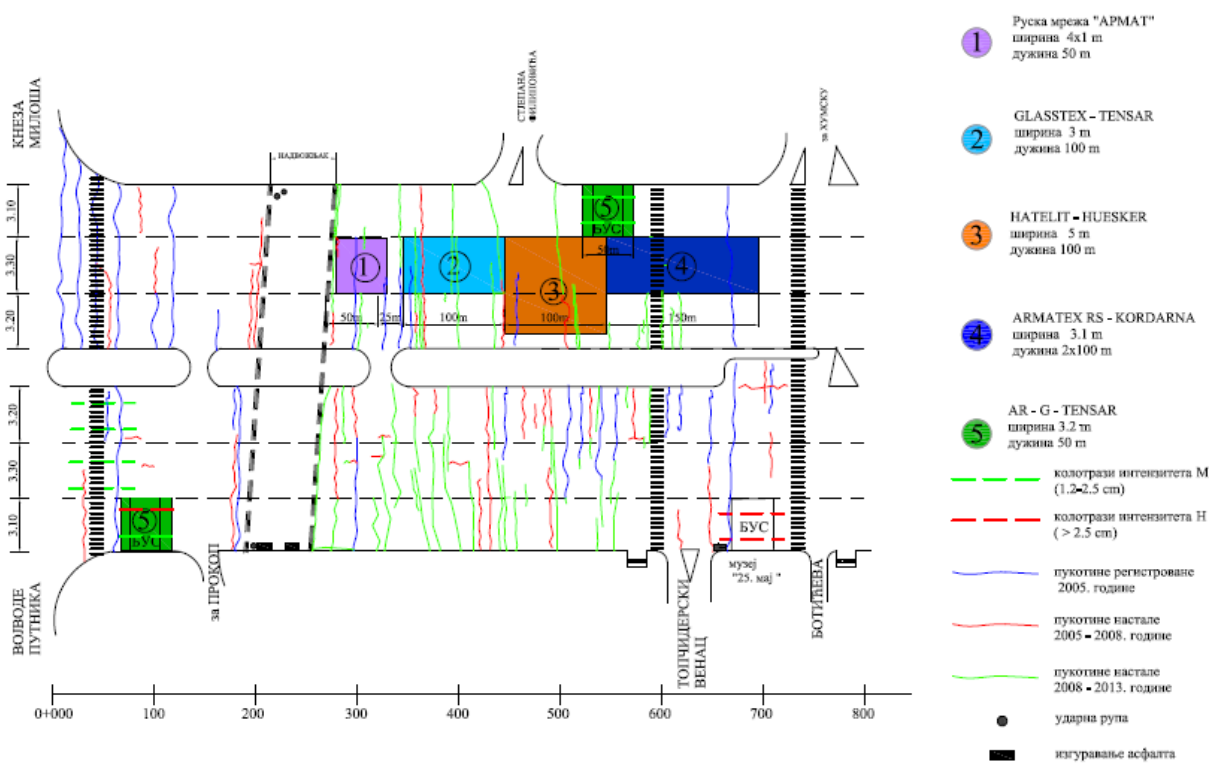
Треће снимање стања коловозне конструкције извршено је у јулу 2013. године, односно десет година након санације (Бугарчић, 2013.). На предметној деоници на делу где су уграђене геомреже уочене се нове подужне и попречне пукотине, међутим, у знатно мањој мери у односу на десну страну на којој не постоје геомреже. Карактеристичне пукотине на десној страни коловоза приказане су на слици 10. Интензитет новонасталих пукотина је низак или средњи, с тим да је дошло до повећања интензитета постојећих пукотина регистрованих приликом ранијих снимања. На слици 9 су зеленом бојом приказане пукотине које су настале у периоду 2008-2013. године.



Слика 7. Шематски приказ стања оштећености у 2005. години



Слика 8. Шематски приказ стања оштећености у 2008. години



Слика 9. Шематски приказ стања оштећености у 2013. години





Слика 10. Пукотине на десној страни коловоза , без геомрежа (Бугарчић, 2013.)

У оквиру снимања стања током 2013. године уочљиво је било да је у протеклом периоду дошло до значајних трајних деформација, посебно на аутобуским стајалиштима. На слици 11 је приказано стање коловозне конструкције на стајалишту на десном коловозу (где није уграђена мрежа), док је на слици 12 приказано стање коловоза на стајалишту на левом коловозу, где је уграђена мрежа. Уграђивање мреже није помогло да се спречи релативно велика пластична деформација асфалтних слојева.

### 3.3. Анализа трендова развоја оштећења

#### Пукотине

У оквиру анализе трендова извршена је анализа обима оштећености на два коловоза, с циљем да се утврде евентуални ефекти примене мрежа у оквиру рехабилитације коловозне конструкције.

На слици 13 дато је упоређење обима пукотина у возним тракама на левом (са мрежама) и десном коловозу (без мрежа). Дијаграм укључује само деоницу од надвожњака до пешачког прелаза код Хумске улице на којој су уграђене мреже.

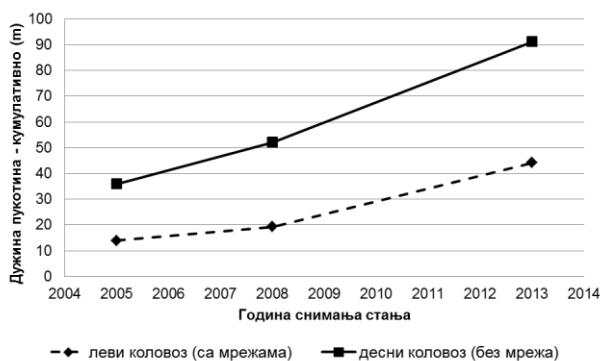


Слика 11. Колотрази на аутобуском стајалишту на десном коловозу



Слика 12. Колотрази на аутобуском стајалишту на левом коловозу

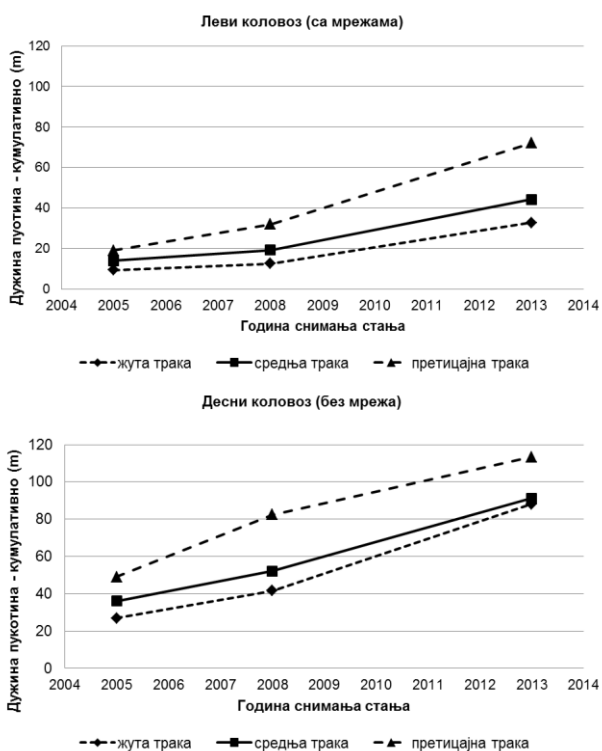




**Слика 13.** Обим пукотина у возним тракама на левом и десном коловозу

Обим испуцалости на десном коловозу (без мрежа) је већи него на левом коловозу чији је један део (возна трака и део претицајне траке) прекривен мрежама приликом рехабилитације. На слици 14 је дато упоређење обима пукотина по саобраћајним тракама за леви и десни коловоз.

Обим пукотина по тракама на десном коловозу је већи од обима пукотина по тракама на левом коловозу, без обзира да ли су уграђене мреже или не, што указује на лошије стање коловоза десног коловоза пре рехабилитације.

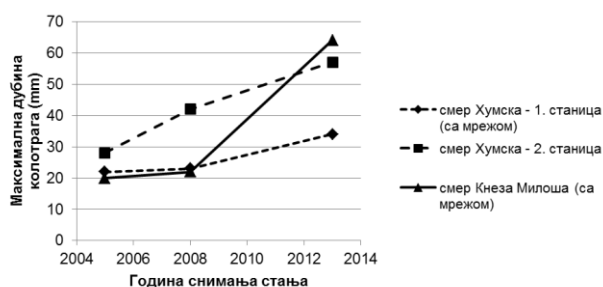


**Слика 14.** Обим пукотина на левом и десном коловозу

Из упоредног прегледа обима пукотина на појединим тракама уочава се да је на претицајним тракама већи обим пукотина него на возним и жутим тракама, што указује на то да су ове пукотине примарно последица термичких утицаја и старења асфалтних слојева, а да је саобраћајно оптерећење секундарни фактор.

### Колотрази

На слици 15 је дат упоредни преглед максималне дубине колотрага на сва три аутобуска стајалишта измерене у три контролна снимка.



**Слика 15.** Максимална дубина колотрага на аутобуским стајалиштима

Из приказаног дијаграма се уочава слабији прираст деформација у једном периоду експлоатације. Ипак, јасно је да је, већ након две године од урађене рехабилитације, измерен колотраг високог интензитета без обзира на примењене мреже.

Колотрази могу настати из два основна разлога (слика 16):

- као последица слабе подлоге и великих напона притиска у свим слојевима;
- као последица лоших карактеристика асфалтних слојева – када се колотрази јављају само у горњим асфалтним слојевима.



**Слика 16.** Узроци настанка колотрага (Brown, 1998.)

У овом случају, на станици на којој су примећени колотрази, подлога је крута, и колотрази су се формирали искључиво у асфалтним слојевима. Како су критичне деформације у средини асфалтног слоја, ту би било најсврхисходније поставити армирајући слој.

Испитивања рађена на Универзитету Nottingham још 1985. год. на узорцима направљеним за испитивање ефеката армирања на развој колотрага у асфалтним слојевима (*Brown, 1988.*) показали су да постављањем арматурне мреже у средини асфалтног слоја дубина колотрага може да се редукује до 40%.

Ово указује да би ефекат армирајуће мреже у овом случају вероватно био бољи да није постављена на дубини од 12 см, односно да је постављена између битуменираног носећег и хабајућег слоја.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани резултати праћења стања оштећености опитне деонице на Булевару кнеза Александра Карађорђевића у Београду на чијем делу су током 2003. године приликом рехабилитације коловозне конструкције уграђене геомреже у возној траци.

Снимање оштећености коловозне конструкције обављено је у три наврата, 2005., 2008. и 2013. године. У оквиру анализе резултата може се закључити:

- обим пукотина у возној траци на левом коловозу (са мрежама) је знатно мањи од обима пукотина у возној траци на десном коловозу (без мрежа);
- на траци са мрежама пукотине су се касније рефлектовале и имале спорији прираст у односу на траке без мрежа, посебно у прих 5 година експлоатације;
- да се тренд развоја пукотина убрзава са временом.

Примена мреже на аутобуском стајалишту није помогла да се значајније смањи дубина колотрага. Основни разлог је неадекватна позиција мреже која је постављена испод битуменираног носећег слоја, уместо да буде постављена између битуменираног носећег и хабајућег слоја.

#### Литература

- [1] Brown, S.F. (1988), Polymer reinforced grid to limit cracking and rutting in pavements, 3<sup>rd</sup> IRF Middle East region Meeting, Riyadh, Saudi Arabia.
- [2] Бугарчић М. (2013). Синтезни пројекат "Примена геомрежа за рехабилитацију флексибилних коловозних конструкција", Грађевински Факултет, Београд
- [3] Тривић, Љ. (2005) Преглед уграђених геосинте-тичких материјала и мрежа при санацији коловозне конструкције у Улици Булевар мира у Београду, Институт за путеве, Београд
- [4] Тривић, Љ. (2008). Контролни преглед пробне деонице за примену геосинтетичких мрежа за армирање асфалтних слојева, Институт за путеве, Београд
- [5] Тривић, Љ. (2008). Контролни преглед пробне деонице за примену геосинтетичких мрежа за армирање асфалтних слојева, Институт за путеве, Београд
- [6] Mladenović, G. (2005). Harmonizacija naše i evropske regulative iz oblasti projektovanja i građenja kolovoznih konstrukcija. Put i saobraćaj, 52(4), 26-33.
- [7] Mladenović, G., Stanković, S. (2008). COST 354 - evropska harmonizacija indikatora stanja kolovoznih konstrukcija na putevima. Put i saobraćaj, 55(4), 24-33.
- [8] Čurović, T., Mladenović, G., Milićević, R. (2009). Metodologija analize rezultata međulaboratorijskih ispitivanja. Put i saobraćaj, 56(2), 5-10.