

# ОЦЕНА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ АУТОПУТА Е-75, ПРОЛАЗ КРОЗ БЕОГРАД, ДЕОНИЦА: АЕРОДРОМ "НИКОЛА ТЕСЛА" - НАПЛАТНА СТАНИЦА "БУБАЊ ПОТОК", ОД КМ 564+582 ДО КМ 594+650

Радомир Јаковљевић дипл.грађ.инж.  
"Центар за путеве Војводине" АД, Нови Сад, Србија

**Резиме:** Предметна деоница аутопута Е-75, Пролаз кроз Београд представља саобраћајно најоштерењенију деоницу и као таква се сврстава у ред најзначајнијих деоница путне мреже Републике Србије. Прошкли период експлоатације коловозне конструкције од преко 35 година (коловоз делимично рехабилитован 1989. године), велико саобраћајно оштерењење и неадекватно одржавање учинили су неопходним извођење рехабилитације коловоза у што хитнијем року. Оцена постојеће стања функционалних (додужна равнот, хоризонтална равнот, оштећеност површине) и структурних карактеристика (FWD дефлексије, GPR - Гроунд пенејрајинг радар, Сондажне јаме, бушотине и кернови) коловозне конструкције извршена је на основу изведених обимних испражних радова, мерења и лабораторијских испитивања. Одређивање резидуалне носивости носећих слојева коловозне конструкције (цементне стабилизације и асфалтних слојева) представља суштинску оцену постојеће стања са аспекта пројектовања техничких мера рехабилитације коловозне конструкције.

**Кључне речи:** Оцена постојеће стања коловозне конструкције, Функционалне и структурне карактеристике коловоза, FWD дефлексије, Модули слојева коловоза, Резидуална носивост.

## PAVEMENT EVALUATION OF HIGHWAY E-75, PASSAGE THROUGH BELGRADE, SECTION: AIRPORT "NIKOLA TESLA - PAY TOLL STATION "BUBANJ POTOK", FROM KM 564+582 TO KM 594+650

**Abstract:** Mentioned section of the motorway E-75, passage through Belgrade is the section with highest traffic frequency in the road network of the Republic of Serbia and as such it is classified among the most important sections in the network of the Republic of Serbia. Past period of exploitation of over 35 years (pavement was rehabilitated to a certain degree in 1989), high traffic frequency and inadequate maintenance have imposed the necessity for the rehabilitation of the pavement as soon as possible. The evaluation of the existing condition of functional (longitudinal roughness, horizontal roughness, surface deterioration) and structural characteristics (FWD deflection, GPR, trial pits, bore holes and cores) of the pavement structure has been carried out on the basis of comprehensive investigation works, measurements and laboratory testing. Determination of the residual capacity of the bearing course of the pavement structure (cement stabilization and asphalt layers) represents the essence of the evaluation of the existing condition from the aspect of designing of technical measures for the pavement rehabilitation.

**Key words:** Pavement evaluation, Pavement surface and structure characteristics, FWD deflections, Pavement layer moduly, Residual bearing capacity.

## 1. ОПШТЕ

Према Пројектном задатку, који је саставни део уговорне документације, предметну деоницу аутопута Е-75 чине следеће деонице (сектори):

- Сектор 1: петља "Аеродром"- почетак моста "Газела" од км 564+582 до км 579+318
- Сектор 2: крај моста "Газела" - почетак напл. "Бубањ Поток" од км 580+802 до км 594+650

## 2. ИСТОРИЈСКИ ПОДАЦИ

За прикупљање историјских података о коловозној конструкцији коришћена је доступна, релевантна и расположива техничка документација "Историјског Архива Београда", Београд. Једини извор информација за пројектанта је био некомплетан "Главни пројекат Аутопута Загреб – Београд, деоница: Сурчин - Национал" израђен од стране Заједнице предузећа за путеве СР "Србијапут" 1968. године и "Извештај о извршеним истражним радовима за аутопут кроз Нови Београд" 1968. године. За остатак деонице која је предмет овог пројекта пројектанту није била доступна никаква историјска документација.

Према доступној пројектно техничкој документацији пројектоване су коловозне конструкције приказане у Табели 1.

Табела 1: Пројектоване коловозне конструкције

Десна трака:		Лева трака (изграђена преко старог бетонског коловоза):	
<i>Возна и прелиминарна трака</i>		Асфалт бетон	д= 4.0 цм
Асфалт бетон	д= 4.0 цм	Битуменизирани носећи слој	д= 11.0 – 16.0 цм
Везни слој	д= 6.0 цм	Стари бетонски коловоз	д= 20 цм
Битуменизирани носећи слој	д= 14.0 цм	Шљунак	д= 14 до 60 цм
Цементна стабилизација шљунка	д= 20 цм		
Шљунак	д= 26 цм		
<i>Зауставна трака</i>			
Асфалт бетон	д= 4.0 цм		
Битуменизирани носећи слој	д= 6.0 цм		
Цементна стабилизација шљунка	д= 14 цм		
Шљунак	д= 26 цм		

Резултати анализе историјске пројектно техничке документације се нису могли користити за формулисање програма теренских и лабораторијских испитивања јер их није било у довољном обиму што је последично утицало на повећање обима истражних радова. Као полазну основу у анализи механичког понашања конструкције у протеклом и будућем пројектном периоду и подели укупне дужине пута на хомогене деонице и формулисање решења рехабилитације користиће се резултати истражних радова који ће се спровести за потребе израде пројекта рехабилитације.

### 3. ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ

#### 3.1 Функционалне карактеристике

##### 3.1.1 Подужна и попречна равност

Пројектним задатком је дефинисано да се на основу резултата мерења Попречне и Подужне равности површине коловоза које је обавио Инвеститор (ЈП “Путеви Србије”) са мултифункционалним уређајем Dynatest изврши оцена стања и подела на хомогене деонице по параметрима подужне и попречне равности.

За поделу на хомогене деонице по параметру попречне и подужне равности коришћена је метода кумулативних разлика сходно смерницама *AASHTO GUIDE for DESIGN of Pavement Structures*. За сваку хомогену деоницу одређена је просечна вредност равности, стандардна девијација и карактеристична 85% вредност.

##### 3.1.2 Оштећеност површине коловоза

Снимак оштећености површине коловозне конструкције урађен је дигиталним видео системом и тастатурама за бројање оштећења у склопу система ROMDAS (ROad Measurement Data Acquisition System).

Снимање оштећења је урађено по SHRP методологији док је обрада података о оштећењима коловозне конструкције која је дата на следећој страни на слици бр. 1 "Стање коловозне конструкције" урађена је према захтевима НДМ-4 модела.

Посебно је извршена анализира оштећења, за леву и десну траку посебно, која су пројектанту после визуелног прегледа деонице и увида у доминантна оштећења били меродавни за анализу стања коловозних конструкција на предметној деоници, а то су две врсте оштећења које су подељене по свом интензитету у три класе (зелена, жута и црвена класа):

- Мрежасте пукотине у трагу точкова (пукотине од замора) изражене у проценту захваћене површине на ширини од 1,0 м у трагу точкова
- Рефлектоване попречне пукотине, подужне пукотине и термичке (блок) путотине изражене у % захваћене површине

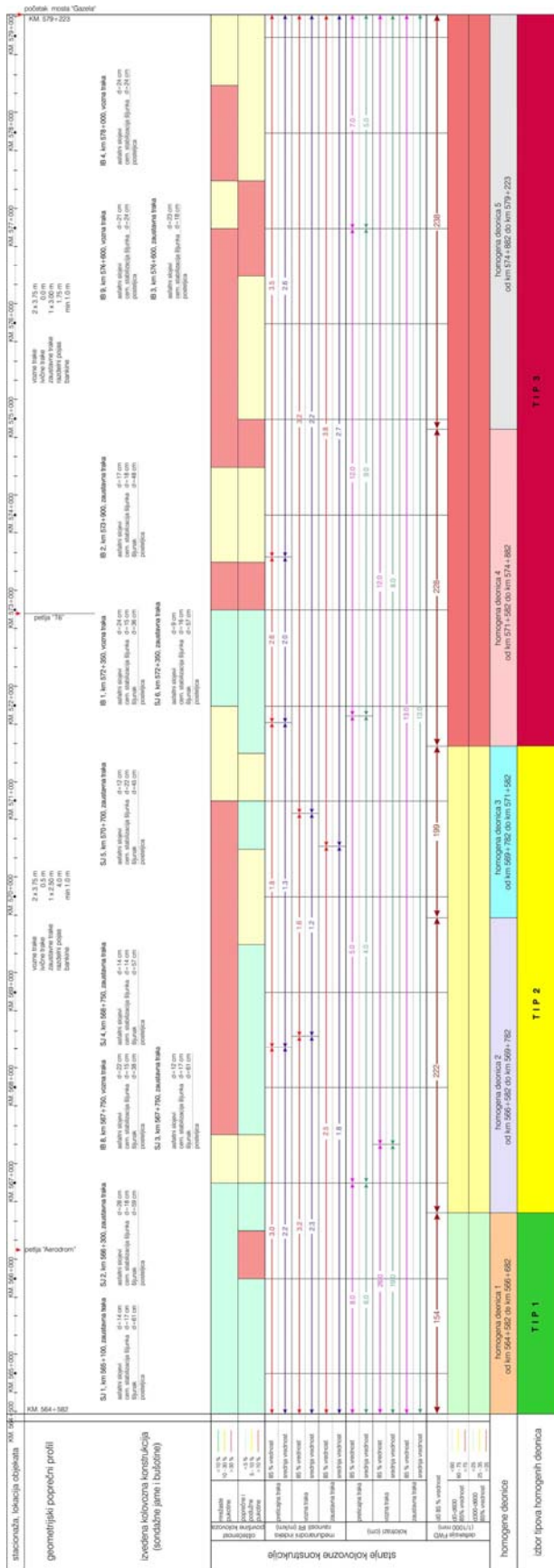
Извршена подела на хомогене деонице према оштећености површине коловоза користиће се код коначне поделе на хомогене деонице и одређивања резидуалне носивости коловоза. Сагласност између стања оштећености и резидуалне носивости коловозне конструкције мора бити индикувана на свим хомогеним деоницама.

#### 3.2 Структурне карактеристике

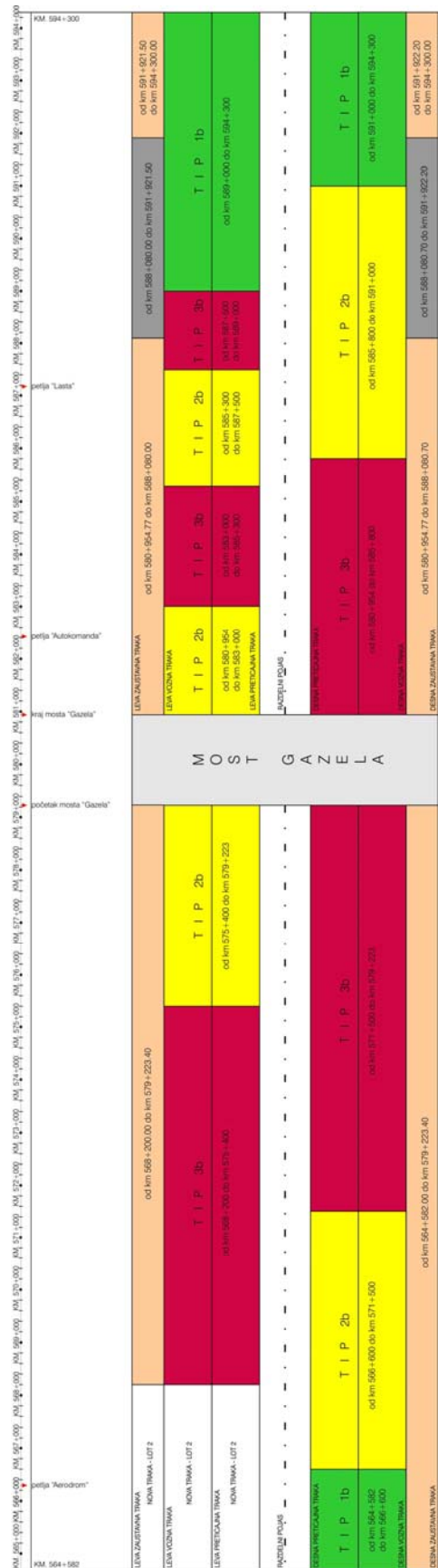
##### 3.2.1 Деформабилност

Дефлексије коловозне конструкције су мерене дефлектометром са падајућим теретом Dynatest FWD (Falling Weight Deflectometer). Мерење дефлексија је вршено наношењем силе од 70 kN на кружну плочу пречника 300 мм постављену на површину коловоза. Оптерећењем је постигнут контактни напон од 0.990 МПа.

Мерење је вршено у десном колотрагу у возним тракама на сваких 100 м континуално дуж целе деонице и састоји се од три ударца падајућим теретом. Угиби коловозне конструкције регистровани су геофонима ( 7 геофона на растојањима 0, 200, 300, 600, 900, 1200, 1500 мм ). Услови за извођење мерења су били веома тешки услед великог



Слика 1. "Стање коловозне конструкције" за сектор 1, десна трака



Слика 2. Типови хомогених деоница

саобраћајног оптерећења на предметној деоници и последично отежаних услова регулисања саобраћаја за време мерења.

Дефлексије су мерене при температури ваздуха од 6 - 20 C°. За свако мерно место измерена је температура ваздуха и стационажа, док је температура асфалтних слојева коловозне конструкције мерена све време током мерења дефлексија.

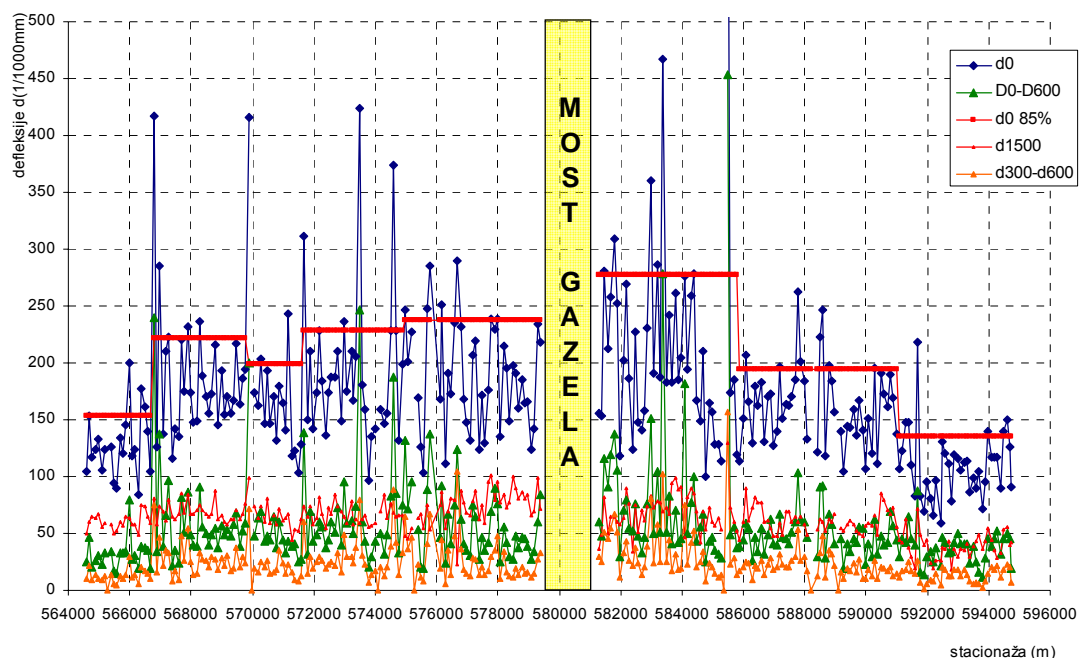
У циљу поделе на хомогене деонице по деформабилности и добијања што јасније слике о тренутном стању и резидуалној носивости коловоза пројектант је спровео упоредну анализу четири параметра који указују на следеће:

- крутост горњих носећих слојева изражена преко разлике дефлексија на сензорима d0 и d600 ( $SCI_{0-600} = d0 - d600$ )
- крутост слоја цементне стабилизације изражена преко разлике дефлексија на сензорима d300 и d600 ( $SCI_{300-600} = d300 - d600$ )
- квалитет постелице изражен преко дефлексије на сензору d1500
- укупна крутост коловозне конструкције изражена преко централне дефлексије d0

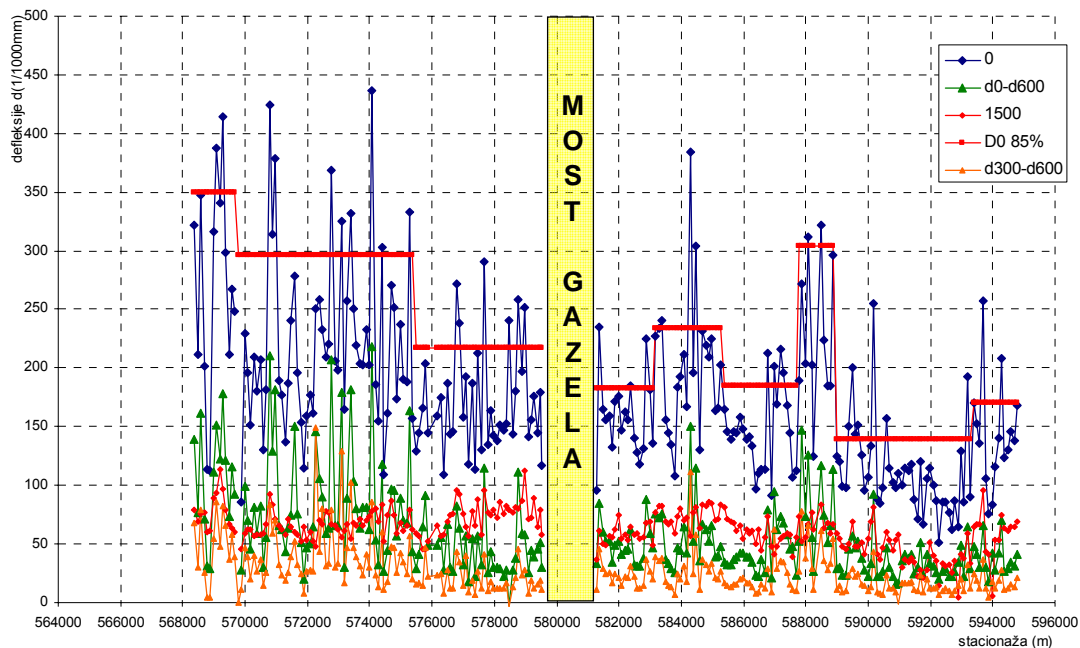
Поступак одређивања хомогених деоница урађен је у следећим корацима:

- упоредна анализа сва четири показатеља носивости заједно са циљем одређивања евентуалног узрока губитка носивости
- анализа дијаграма функције кумулативних разлика за дефлексију d0 према *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*
- подела на хомогене деонице према деформабилности коловоза
- одређивање меродавног профила који најбоље одговара срачунатом 85%-ном профилу за сваки тип хомогене деонице потребне за поступак "backcalculation"

На следећим сликама 1 и 2 су дати дијаграми са упоредним приказом ове четири величине и дијаграми функције кумулативних разлика за централну дефлексију d0:



Слика 3: Дијаграм показатеља носивости за десну - возну траку аутопута



Слика 4: Дијаграм показатеља носивости за леву - возну траку аутопута

### 3.2.2 Сондажне јаме, бушотине и кернови

Формирање механичког модела коловозне конструкције у циљу оцене њене резидуалне носивости претпоставља прецизно познавање дебљина појединих слојева, квалитета међуслојних веза и физичко механичких својстава материјала у појединим слојевима и постелици, а нарочито у слоју цементне стабилизације.

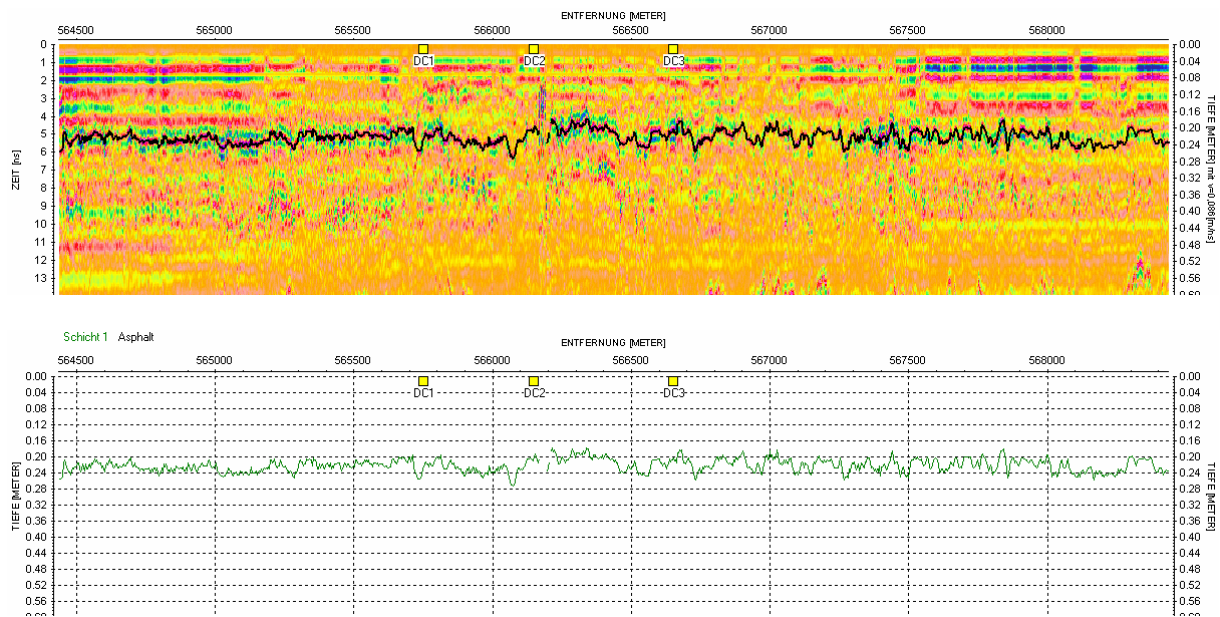
Због тога је обављен ископ 44 сондажне јаме и бушотине коловозне конструкције (17 сондажних јама и 27 сондажних бушотина) дубине до 2.0 метра и 55 кернова како би се добили потребни подаци о структури коловоза дуж целе пројектне деонице и извршила калибрација континуалног снимка структуре коловоза Георадаром. На узорцима материјала из сондажних јама, бушотина и кернова урађена су потребна лабораторијска испитивања постелице, невезаних носећих слојева, цементне стабилизације и асфалтних слојева.

### 3.2.3 Континуално снимање структуре Георадаром

Континуално недеструктивно снимање структуре коловозне конструкције извршено је GPR - Ground Penetrating Radar-om RAMAC/GPR CUII, MalaGeoscience. Снимања су обављена брзином од 15 km/h. Калибрација GPR-а извршена је уз помоћ резултата истраживања деструктивним методама (сондажне јаме, бушотине и кернови) који су приказани у претходној тачки.

Тумачењем снимљених података вршено је:

- идентификација дебљине слојева коловозне конструкције (асфалтни слојеви целом дужином (док је слој цементне стабилизације био анализиран локално директно на снимцима у софтверу REFLEXW у зависности од потребе) слој шљунка и постелица)
- рекогносцирање везаних материјала у слојевима коловоза
- познавање врсте материјала и влажности тла у невезаним слојевима, постелици и доњем строју и препознавање евентуалних промена



Слика 5: Пример континуалног снимка структуре коловоза у десној возној траци од km 564+435 до км 568+439

#### 4. ПОДЕЛА НА ХОМОГЕНЕ ДЕОНИЦЕ

У поступку избора хомогених деоница, пројекат је прихватио полазне захтеве да свака хомогена деоница буде карактерисана дефиницијом структуре коловозне конструкције и што јаснијом идејом о њеном механичком понашању.

Избор хомогених деоница које су посебно анализирани заснован је на логичној комбинацији резултата приказаних на Слици 1 "Стање коловозне конструкције" (дат је пример за десну траку, сектор 1) и хомогених деоница према свим параметрима стања коловоза. Сви подаци и информације о стању функционалних и структурних карактеристика коловоза су квантификовано изражени, а њихова комбинација је омогућила препознавање и издавајање одређеног броја модалитета понашања и стања коловозне конструкције на целој дужини пута коју овај пројекат третира.

Обављена анализа омогућила је познавање доминантних проблема коловозне конструкције, које пројектом треба решити и одликује се логичном сагласношћу свих кључних параметара.

#### 5. ИЗБОР ТИПОВА ХОМОГЕНИХ ДЕОНИЦА

##### 5.1 Критеријуми

Груписање и типизација хомогених деоница према стању функционалних и структурних карактеристика коловозне конструкције ће се извршити на основу следећа два критеријума:

##### 1. Резидуална носивост слоја цементне стабилизације

пресудно утиче на резидуалну носивост коловозне конструкције што се огледа у следећим чињеницама:

- Саобраћајно оптерећење спада у групу врло тешког саобраћајног оптерећења.
- Геометријско ограничење било какве промене нивелете коловоза (дефинисано у Пројектном задатку), што би резултирало обимним радовима на систему за одводњавање, ивичњацима и надвожњацима (критичан слободни профил), и продужењем рокова за извођење радова, искључило је употребу техничких мера појачања коловоза (overlay) и усмерило пројектовање техничких мера рехабилитације коловоза искључиво на замену носећих слојева (inlay односно mill and replace).

Следи да ако је резидуална носивост слоја цементне стабилизације слаба односно није довољна за пројектни период од 10 година, а асфалтни слојеви имају одређени капацитет, рехабилитацијом ће бити уклоњен и онај део асфалтних слојева који има одређену резидуалну носивост па се долази на закључак да је груписање и типизација хомогених деоница према структурним карактеристикама условљено стањем резидуалне носивости слоја цементне стабилизације.

## **2. Појава пластичне деформације асфалтних слојева – колотрага и/или знатне оштећености површине коловоза (попречне рефлектоване пукотине, блок пукотине...)**

пресудно утичу на пројектовање техничке мере рехабилитације коловоза на деоницама где је резидуална носивост коловоза задовољавајућа односно испуњава експлоатационе захтеве за пројектни период од 10 година:

- Постоје хомогене деонице на којима је доминантна појава колотрага али на више деоница је заступљено стање у којем се смењује појава колотрага и оштећеност. Оба проблема су изражена до мере у којој је потребно интервенисати у смислу замене хабајућег слоја.

Један од основних захтева нивоа услуге коловозне конструкције на предметној деоници аутопута је минимизирање радова на одржавању коловоза у пројектном периоду рехабилитације. Било каква интервенција на одржавању коловоза изазива велика загушења и ометање функционисања саобраћаја у Београду што изазива знатне трошкове корисника који вишеструко превазилазе трошкове саме интервенције на коловозу.

## 5.2 Критеријумске вредности

За класификацију типа хомогене деонице коришћени су следећи резултати спроведених анализа:

- анализе дефлексионих басена на основу којих је извршен прорачун резидуалне носивости носећих слојева коловозне конструкције (цементна стабилизација и асфалтни слојеви) у функцији од величина SCI д300-д600 и SCI д0-д600
- анализе стања површине (подужна равност, попречна равност и оштећеност) коловозне конструкције

Табела 2: Приказ типова хомогених деоница.

ТИП		СЦИ д0-д600	СЦИ д300-д600
1	добра резидуална носивост слоја цементне стабилизације	≤ 60	≤ 25
2	осредња резидуална носивост слоја цементне стабилизације	60 - 75	25 - 35
3	лоша резидуална носивост слоја цементне стабилизације	≥ 75	≥ 35
а	површина коловоза у добром стању (нема колотрага ни знатних оштећења) - евентуално		

	потребна санација локалних оштећења
<b>б</b>	површина коловоза показује знаке пластичног деформисања асфалтних слојева – колотраг и/или оштећеност површине коловоза је знатна па је потребно извршити интервенцију заменом хабајућег слоја (најчешћи случај је наизменична појава колотрага и оштећености)

### 5.3 Типичне хомогене деонице

Предметна деоница аутопута је подељена на типичне хомогене деонице приказане у табели 3 док је графички приказ поделе дат на слици 2. "Типови хомогених деоница".

Табела 3. Типичне хомогене деонице

ДЕСНА ТРАКА					
ТИП	од	до	дужина	д0-д600 85%	д300-д600 85%
1б	564,582	566,700	2,100	37	17
2б	566,700	569,800	3,100	67	32
2б	569,800	571,600	1,800	69	25
3б	571,600	574,900	3,300	84	40
3б	574,900	579,400	4,500	88	43
МОСТ Газела					
3б	581,300	585,800	4,500	110	52
2б	585,800	590,900	5,200	62	29
1б	590,900	594,800	3,757	46	20
ЛЕВА ТРАКА					
ТИП	од	до	дужина	д0-д600 85%	д300-д600 85%
3б	568,282	569,600	1,400	152	79
3б	569,600	575,400	5,700	142	59
2б	575,400	579,400	4,141	64	29
МОСТ Газела					
2б	581,300	583,100	1,788	61	30
3б	583,100	585,300	2,200	75	38
2б	585,300	587,700	2,400	65	29
3б	587,700	588,900	1,200	121	63
1б	588,900	593,300	4,400	47	22
1б	593,300	594,800	1,500	48	24

## 6. ПРОРАЧУН МОДУЛА СЛОЈЕВА

Прорачун модула слојева коловоза у тренутку мерења дефлексија ("backcalculation") извршен је на свим типичним хомогеним деоницама аутопута. Прорачун је извршен за изабрани меродавни профил, који најбоље апроксимира 85%-ни дефлексиони басен, програмом Shell лабораторије - BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads) уз претпоставку да су сви материјали у слојевима коловозне конструкције линеарно еластични.

За проверу одступања рачунског од меродавног (мереног) дефлексионог басена коришћене су две критеријумске функције:

- збир апсолутних процентуалних грешака
- средња квадратна грешка

При прорачуну је прихваћено следеће:

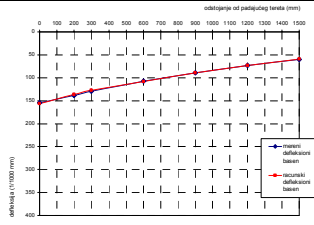
- постелица је посматрана као хомоген еластичан полупростор без узимања у обзир нелинеарности материјала тако да модули слојева постелице добијени прорачуном "backcalculation" нису директно применљиви у прорачуну
- модул постелице је у прорачунима појачања и трајности је дефинисан преко Shell-овог израза ( $E [MPa]=10 \times CBR [\%]$ ) узимајући у обзир квалитет и дебљине материјала

- модули слојева асфалта и цементне стабилизације су директно применљиви у прорачунима трајности коловозне конструкције

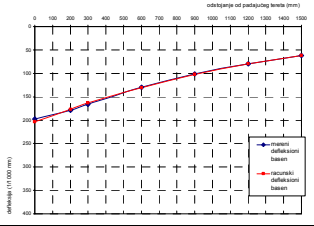
У следећој табели су дати резултати прорачуна на типичним хомогеним деоницама са графичким приказом рачунског и мереног дефлексионог басена на дијаграму.

Табела 4: Механички модел коловозне конструкције са вредностима модула слојева и графичким приказом рачунског и мереног дефлексионог басена на дијаграму

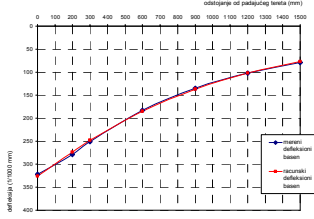
механички модел коловоза				
структура коловоза	д(цм)	Е(МПа)	$T_{\text{мер}}$	$T_{\text{реф}}$
ТИП 1б				20°C
асфалтни слојеви	22	8800	7	20
цементна стабилизација	17	9900	$E_{\text{мерено}}$	$E_{\text{реф}}$
шљунак "Моравац"	60	120	8800	4800
постељница: песковита прашина		280		

механички модел коловоза				
структура коловоза	д(цм)	Е(МПа)	$T_{\text{мер}}$	$T_{\text{реф}}$
ТИП 2б				20°C
асфалтни слојеви	22	8200	7	20
цементна стабилизација	19	2700	$E_{\text{мерено}}$	$E_{\text{реф}}$
шљунак "Моравац"	40	85	8200	4472
постељница: песак		268		

механички модел коловоза				
структура коловоза	д(цм)	Е(МПа)	$T_{\text{мер}}$	$T_{\text{реф}}$
ТИП 3б				20°C
асфалтни слојеви	22	4550	10	20
цементна стабилизација	20	850	$E_{\text{мерено}}$	$E_{\text{реф}}$
шљунак "Моравац"	50	90	4550	2854
постељница: песковита прашина		200		



## 7. ЗАКЉУЧАК

Спроведеном оценом постојећег стања, којом је обухваћен и прорачун резидуалне носивости, уз пројектовање материјала за рехабилитацију и прорачун утицајних параметара у пројектном периоду, дефинисано је пројектовање техничких мера рехабилитације коловоза.

## РЕФЕРЕНЦЕ

[1] Р.Јаковљевић *Главни пројекат рехабилитације аутопута Е-75, Пролаз кроз Београд, деоница: Сурчин (дејња "Аеродром") - Бубањ Пошок (најлајна станица "Бубањ Пошок") од км 564+582 до км 594+650", Књига 3.0, "Пројекат коловозне конструкције", Нови Сад, Србија, 2007.*