

КОНСТРУКЦИЈЕ КОЛОСЕКА ГРАДСКИХ ШИНСКИХ СИСТЕМА ЗА МЕШОВИТИ САОБРАЋАЈ

Стефан Стојиловић, мастер инж. грађ.

Саобраћајни институт ЦИП, Београд, stojilovicstefan@gmail.com

проф. др Горан Младеновић, дипл.инж.грађ.

Грађевински факултет, Универзитет у Београду,
emladen@imk.gfr.bg.ac.rs

Стручни рад

Резиме: Полазни елемент за рад на овом пројекту је горњи строј пруга, а циљ – трагање и избор оптималне конструкције, која би у спрези са осталим конструктивним елементима трамвајске пруге представљала основу за решавање предстојећих задатака на обнови постојећих и градњи нових пружних деоница. Један од основних задатака овог рада јесте дефинисање минималне дебљине бетонске плоче при чему она мора да задовољи одређене критеријуме за пројектовано саобраћајно оптерећење. Анализа бетонске плоче је спроведена применом софтвера TOWER, а резултати анализе су упоређивани са резултатима аналитичких метода које одликују сложен и комплексан прорачун.

Кључне речи: трамвајски шински систем, лаки шински систем, коловозна конструкција, бетонска плоча, пројектни период, оптерећење

URBAN RAILWAY TRACK SYSTEM STRUCTURES USED IN MIXED TRAFFIC

Stefan Stojilovic, B.Sc., M.Sc., CE.

Institute of Transportation CIP, Belgrade stojilovicstefan@gmail.com

Goran Mladenovic, Ph.D. CE.

Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade,
emladen@imk.gfr.bg.ac.rs

Professional paper

Abstract: The starting point for working on this project was the railway track superstructure, and the objective was to define the optimal structure which would represent, together with the other tram track structural elements, the basis for solving the forthcoming tasks of reconstruction of the existing railway sections and construction of the new ones. One of the main tasks of this paper is to define the minimum concrete slab thickness which has to meet certain criteria for the projected traffic loading. The analysis of the concrete slab was carried out by application of the software TOWER, and the results of the analysis were compared to the results of the analytical methods, characterized by the complex and extensive calculation.

Key words: tram system, light rail, pavement structure, concrete slab, project life, load

1. УВОД

У површинским системима јавног градског саобраћаја врло чест случај је да трамваји и аутобуси користе јединствену саобраћајну траку због просторних ограничења. Оптерећење на овим тракама је врло сложено, с обзиром да је поред оптерећења од трамваја конструкција оптерећена соло и зглобним аутобусима, чији положај може варирати у оквиру траке, и да поред тога може бити изложена и температурним утицајима услед разлике температура на горњој и доњој површини плоче.

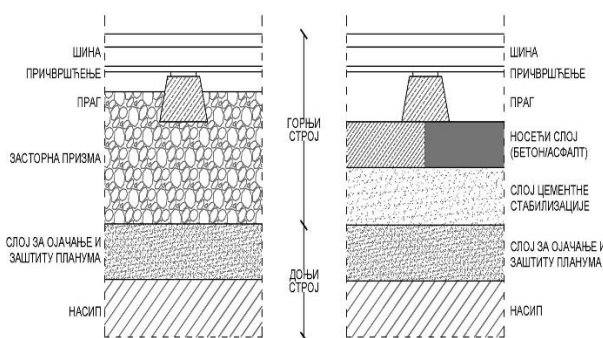
У Београду се за конструкцију трамвајских колосека примењивао систем ЗГ-3 развијен током 80-тих година XX века. Тренутно је у току реконструкција колосека у неколико важнијих улица у граду и при томе се као стандардно решење изводи бетонска плоча дебљине 30 см, као основни носиви елемент конструкције.

Циљ овог рада је био да се провери сврсисходност примене релативно велике дебљине бетонске плоче и да се испита могућност рационализације пројектног решења.

2. ТИПОВИ КОНСТРУКЦИЈА ТРАМВАЈСКОГ КОЛОСЕКА

Доњи строј трамвајске пруге чине земљани труп са прелазним слојевима за ојачање и заштиту, или инжењерски објекти (мостови, тунели, пропуси).

Горњи строј код класичних решења пруге са засторном призмом чине: шине, колосечни прибор, прагови и застор. Код решења на чврстој подлози уместо засторне призме примењују се везани носећи слојеви (бетонска плоча или асфалтни слојеви), а доњи носећи слој може бити од цементне стабилизације (слика 1).



Слика 1. Елементи горњег и доњег строја у застору (лево), чврстој подлози (десно) [1]

Према систему ослањања, у употреби су два типа конструкције горњег строја, са дисконтинуалним (тачкастим) и са континуалним ослањањем шине.

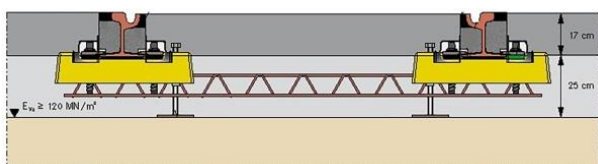
Конструкција горњег строја са дисконтинуалним ослањањем шине може се према врсти подлоге поделити на конструкције са:

- дрвеним или бетонским праговима у туцаничком застору,
- чврстом бетонском или асфалтном подлогом са праговима или без њих.

У ову групу спадају конструкције система „RHEDA City“, „ECOTRACK“, „INPLACE“, „Mass – spring systems“ и конструкције колосека са подужним праговима.

Конструкције горњег строја система „RHEDA City“ уграђене су на 200 km пруга лаког шинског система у немачким градовима: Берлин, Дрезден, Хановер, Дизелдорф, Карлсруе, Келн, Манхајм и Нирнберг. Ван Немачке је систем примењен у Варшави, Нанту, Хагу, Утрхту, Букурешту, Даблину, Единбургу, Крејдону и више других градова [1,2].

Систем спада у типове монолитног решења колосека на чврстој бетонској подлози, које је развијено са идејом да обезбеди трајну просторну геометрију колосека са повољном ценом грађења и ниским трошковима одржавања [2]. Систем „RHEDA City“ се састоји од дводелних бетонских прагова ојачаних решеткастим носачима целом дужином прага, који су утопљени у бетонску плочу. При томе се формира монолитна колосечна конструкција, а висина конструкције се смањује. Након уређења колосека по смеру и нивелети, прагови се убетонирају у бетонску подлогу која се изводи у једном пролазу у целој висини попречног пресека. На основу података произвођача, дебљина бетонске плоче је 25 cm, а примењен је бетон марке МБ35. На слици 2 је дата конструкција за профил жлебне шине [1,2].



Слика 2. Попречни пресек система „RHEDA City“ [2]

Испод бетонске плоче је слој за заштиту од мрза, а колосечна испуна може бити од асфалта, бетона, камених коцака или супстрата са травом.

Таква конструкција има све предности конструкција горњег строја као што су: лака и брза уградња, трајне геометријске карактеристике, велика носивост, минимално одржавање, без појаве набораности главе шине, удобна вожња, велика сигурност и дуги век трајања [1].

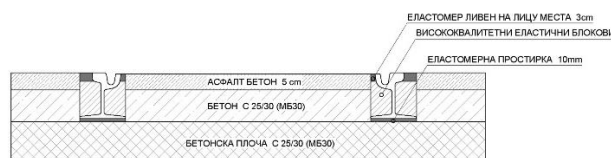
Колосек са континуалним ослањањем шине је увек на чврстој (бетонској или асфалтној) подлози, а ослањање може бити изведено: [1]

- постављањем континуалне еластомерне траке испод ножице шине,
- континуалним подливањем полиуретанском масом испод ножице шине, а преко плоче,
- континуалним заливањем шина постављених на специјално профилисану бетонску плочу.

Ове конструкције омогућавају смањење бука и вибрације, продужетак века експлоатације и олакшану монтажу на градилишту. Неке од разматраних типова конструкција горњег строја су конструкције система: „KRUPP“, „Isolgomma City Track“, „Edilon Corkelast System“ и конструкција код које је шина континуално ослоњена на подливку од флексибилног полиуретана. Конструкција система „Isolgomma City Track“ је највише нашла своју примену у пракси.

„Isolgomma City Track“ је конструктивни систем са континуалним ослањањем на подлогу преко еластомерне траке постављене испод ножице шине. Причврсна места се постављају на размаку од 75 cm. Еластомерна трака (простирка), која се поставља испод ножице шине је непрекидна и намењена константној заштити бетонске подлоге, смањујући вибрације дозвољеним еластичним угибањем од око 0,8 до 1,0 mm, под осовинским оптерећењем од 80 kN. За заштиту колосечне испуне и коловозне површине трамвајске баштице, постављају се уз врат шине висококвалитетни еластични блокови, а уз главу шине еластичне еластомерне спојнице које амортизују извијање шина под оптерећењем и спречавају да се ови утицаји пренесу на коловозну конструкцију, чиме се редукују трошкови одржавања. Дебљина носеће бетонске плоче у овом систему износи 20 cm, а примењује се марка бетона C25/30 (МБ30) [3].

ДЕТАЉ ВЕЗЕ - ИЗВАН МЕСТА ПРИЧВРШЋЕЊА



Слика 3. Попречни пресек система „Isolgomma City Track“ [3]

3. МЕТОДОЛОГИЈА ПРОРАЧУНА

У овом раду је приказано димензионисање коловозне конструкције за два типа конструкције горњег строја:

- конструкцију система „RHEDA City“,
- конструкцију система „Isolgomma City Track“.

Ова два система се разликују по начину ослањања шине на бетонску плочу, односно по начину преношења оптерећења, што ће бити моделирано на одговарајући начин преко дискретних еластичних ослонаца. Стога је модел конструкције горњег строја анализиран у две фазе, и то:

- I фаза: шина (као гредни елемент) на еластичној подлози представљеној опругама одговарајуће крутости,
- II фаза: бетонска плоча, ослоњена доњом површином на подлогу одговарајуће крутости.

Статички прорачун утицаја од трамваја је урађен тако што је најпре разматран утицај осовинског слога возила на греду – шину на еластичној подлози. Затим је реактивно оптерећење подлоге пренето као оптерећење на бетонску плочу.

Анализа утицаја у бетонској плочи извршена је методом коначних елемената, применом софтверског пакета „TOWER“ [4]. При томе су поред утицаја од саобраћајног оптерећења, узети у обзир и утицаји који су резултат разлике температуре бетонске плоче на горњој и доњој површини плоче. С обзиром да се горња површина бетонске плоче налази на коти -18 cm у односу на нивелету коловоза, за разлику температура на горњој и доњој површини бетонске плоче усвојена је вредност од 10 °C, при чему је усвојено да је горња површина током дана топлија, а доња хладнија.

Бетонска плоча је димензионисана за пројектни период од 30 година, а основни критеријум за димензионисање била је отпорност на замор услед суперпонираних утицаја од дејства саобраћајног оптерећења и температуре.

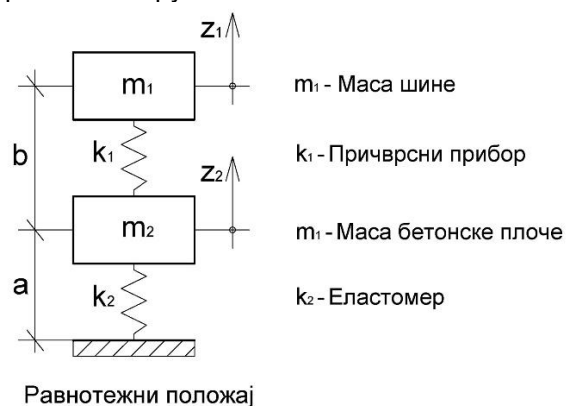
4. МОДЕЛИРАЊЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Посматрана деоница колосека је смештена у средишњи део попречног профила улице, односно у трамвајску баштицу чија је ширина 7,5 m. С обзиром на чињеницу да се посматрана површина користи за мешовити саобраћај (аутобуски и трамвајски), бетонска плоча се поставља у пуној ширини трамвајске баштице, са две саобраћајне траке ширине по 3,75 m, одвојене подужном спојницом. У подужном правцу, на свака 4 m су пројектоване контракционе спојнице (слика 4).



Слика 4. Конфигурација бетонских плоча и трамвајских колосека

Бетонска плоча је континуално ослоњена на подлогу. Механички модел горњег строја има две масе, односно два степена слободе кретања (слика 5). Прва маса, гледано одозго, је маса шине, а друга маса је маса бетонске плоче која је постављена на подлогу. Прва опруга је опруга која замењује причврсни прибор којим се шина везује за бетонску подлогу, а друга опруга представља еластомерни слој испод бетонске подлоге. Маса шине је означена са m_1 , а маса бетонске плоче са m_2 , крутост причврсног система између шине и бетонске плоче је означена са k_1 , а крутост опруге која замењује еластомер испод бетонске плоче са k_2 . Причврсни систем се посматра као тачкаста вертикална опруга.



Слика 5. Упростићен механички модел (две масе) [5]

Шине су моделиране као стандардни гредни елементи, модула еластичности који одговара челику, али недефинисаног попречног пресека. Према познатим геометријским карактеристикама попречног пресека примењене шине Ri60, унете су одговарајуће геометријске карактеристике као што су површина пресека и моменти инерције око хоризонталне и вертикалне осе.

У случају шине континуално ослоњене на бетонску плочу (конструкција система „Isolgomma City Track“), континуално ослањање шине на бетонску плочу се моделира еластичним ослонцима (опругама) постављеним на растојању од 0,3 m, чију крутост дефинише

двокомпонентна полиуретанска маса која се налази на контакту између ножице шине и бетонске плоче [6]:

$$k_1 = 35640 \text{ kN/m'}$$

У случају дисконтинуално ослоњене шине на бетонску плочу (конструкција система „RHEDA City“), између шине и бетонске плоче су постављене опруге на растојању 0,65 m чија је крутост дефинисана крутошћу причврсног система по једном прагу [5]:

$$k_1 = 34000 \text{ kN/m'}$$

Крутост опруге k_2 испод масе m_2 је једнака модулу реакције K подлоге испод бетонске плоче.

5. УЛАЗНИ ПОДАЦИ

5.1 Постељица и подлога коловозне конструкције

Деоница трамвајског колосека која је моделирана у оквиру овог прорачуна се пружа поред Топчидерске реке, на лесном тлу, релативно мале носивости, која изражена преко Калифорнијског индекса носивости (CBR) износи $\text{CBR} = 3\text{--}4\%$. Због недовољне носивости природног тла, пројектом је предвиђена замена завршног слоја постељице дробљеним каменом агрегатом 0/63 mm у дебљини од $d = 40 \text{ cm}$ са циљем да се на површини постељице постигне носивост изражена преко $\text{CBR}_{\text{ЕКВ}} \geq 10\%$, односно да се постигне модул деформације $E_{v2} \geq 80 \text{ MPa}$. Прорачун дебљине замењујућег слоја је спроведен применом софтвера „BISAR“ [7] анализом угиба за вишеслојни еластични систем.

Да би се постигао захтевани модул деформације $E_{v2} \geq 120 \text{ MPa}$ испод бетонске плоче, предвиђа се уградња дробљеног каменог агрегата у дебљини од 30 cm. Модул реакције подлоге је одређен на основу модула постељице и подлоге и дебљине подлоге, применом дијаграма из методе AASHTO/93 [8] за круте коловозне конструкције:

$$k_2 = K = 200 \text{ MN/m}^3$$

За бетонску плочу је усвојена марка бетона C25/30 (МБ30). У прорачуну је анализирана дебљина бетонске плоче од 26 cm.

5.2 Саобраћајно оптерећење

Основне категорије возила које ће користити разматрану деоницу су трамваји и аутобуси.

Меродавно трамвајско возило „CAF“ Urbos-3, има три обртна постоља са по две осовине, од којих свака на шину преноси оптерећење од 9700 kg

(95.124 kN) [9]. Број понављања оптерећења од овог трамваја за усвојени двоминутни интервал наиласка трамваја и за 18 – часовни дневни саобраћај, за пројектни период од 30 година, износи:

$$T_U = 5,9 \cdot 10^6 \text{ осовина од } 95,124 \text{ kN}$$

Вертикално оптерећење услед трамваја се добија множењем максималног осовинског оптерећења меродавног трамвајског возила („CAF“ Urbos-3) са динамичким фактором за брзину од 50 km/h, оно износи:

$$V_{\text{TRAM}} = 95,124 \cdot 1,1 \approx 105 \text{ kN} \quad , \text{ по осовини}$$

$$V_{\text{TRAM}} / 2 = 52,5 \text{ kN} \quad , \text{ по точку}$$

Посматрану коловозну површину осим трамваја користе и аутобуси (зглобни и соло). Меродавни аутобуси за димензионисање су „Ikarbus“-IK 103 (соло) и „MAN“-D2866 (зглобни). На предметној деоници саобраћа 25% зглобних аутобуса. Прорачун саобраћајног оптерећења је извршен са претпоставком да је у току једног дана 25% прелазака аутобуса било без путника (празно), 25% је полупуно, а 50% је са максималним оптерећењем. Све осовине су једноструке, с тим што на предњим осовинама има само по један пнеуматик, а на средњим и задњим имају по два пнеуматика. У табели 1 су приказана осовинска оптерећења за оба аутобуса и сва три нивоа оптерећења по осовинама. У прорачуну је узет у обзир контактни притисак од 0.7 MPa. За сваку осовину и сваки ниво оптерећења су у наредним поглављима срачунати утицаји у бетонској плочи.

Табела 1. Осовинска оптерећења аутобуса [9]

Тип аутобуса: „Ikarbus“ - IK 103 (соло аутобус)			
Положај осовине	предња	средња	задња
Случај оптерећења	Осовинско оптерећење (kN)		
Празан	29,0	-	73,0
Полупун	49,0	-	93,0
Пун	69,0	-	113,0
Тип аутобуса: „MAN“ - D2866 (зглобни аутобус)			
Случај оптерећења	Осовинско оптерећење (kN)		
Положај осовине	предња	средња	задња
Празан	33,0	57,0	57,0
Полупун	54,0	93,0	93,0
Пун	74,0	128,0	128,0

Број понављања оптерећења аутобуса за пројектни период од 30 година за сваку осовину и сваки ниво оптерећења осовине, приказан је у табели 2.

Табела 2. Број понављања оптерећења

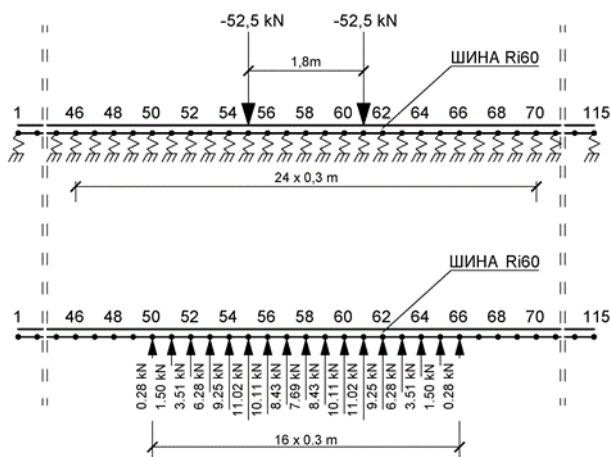
Тип аутобуса: „Ikarbus“ - IK 103 (соло аутобус)	
Празан	443475 осовина од 29kN 443475 осовина од 73kN
Полупун	443475 осовина од 49kN 443475 осовина од 93kN
Пун	886950 осовина од 69kN 886950 осовина од 113kN
Тип аутобуса : „MAN“ - D2866 (зглобни аутобус)	
Празан	147825 осовина од 33kN 295650 осовина од 57kN
Полупун	147825 осовина од 54kN 295650 осовина од 93kN
Пун	295650 осовина од 74kN 591300 осовина од 128kN

Утицај оптерећења од аутобуса на бетонску плочу зависи од висинске разлике кота нивелете и горње површине бетонске плоче. Оба усвојена решења горњег строја за која се врши прорачун имају исте висинске разлике, па самим тим ће и утицај возила бити исти у оба случаја. Усвојени угао распрострањања оптерећења је 45° . Контактна површина пнеуматика возила је моделирана као идеални круг.

6. РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА

6.1 Фаза I – анализа греде на еластичној подлози

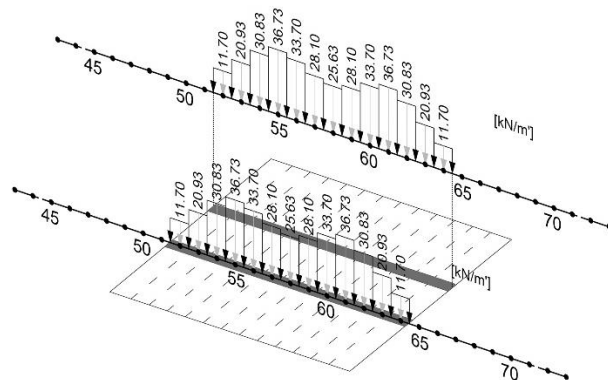
На слици 6 је приказана статичка шема, шема оптерећења и резултати анализе у облику вредности реакција ослонаца за конструкцију система „Isolgomma City Track“.



Слика 6. Статичка шема и шема оптерећења за систем „Isolgomma City Track“

6.2 Фаза II - анализа утицаја од трамваја у бетонској плочи

За оптерећење плоче узето је реактивно оптерећење од утицаја трамвајског возила на шину, које је претворено у једнакоподељено линијско оптерећење. Шема оптерећења за конструкцију система „Isolgomma City Track“ је приказана на слици 7. Бетонска плоча је анализирана за два положаја овог оптерећења: када се оптерећење налази на средини плоче и на ивици плоче.

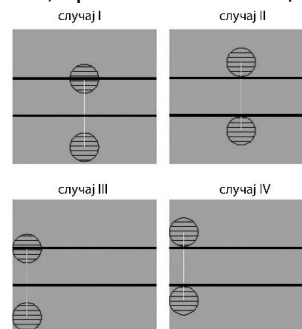


Слика 7. Шема оптерећења плоче за систем „Isolgomma City Track“ када се оптерећење налази у средини плоче

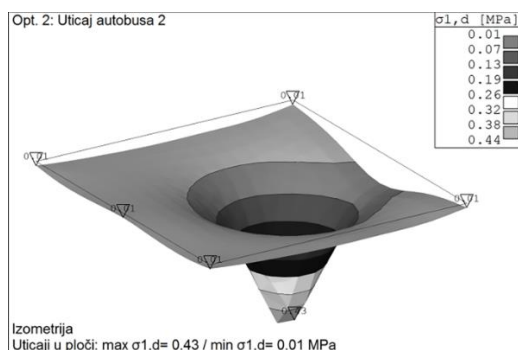
Слично претходном, реактивно оптерећење од утицаја трамвајског возила на шину код конструкције система „RHEDA City“, претвара се у површинско оптерећење (оптерећење на бетонску плочу се преноси преко прага).

6.3 Анализа утицаја од аутобуса у бетонској плочи

Осим реактивног оптерећења изазваног утицајем трамвајског возила, бетонска плоча је изложена утицајима услед оптерећења аутобуса који саобраћају деоницом. Оптерећење се преноси преко контактне површине пнеуматика возила, па је ово оптерећење дефинисано као површинско. Бетонска плоча је анализирана за 4 положаја осовине возила, приказана на слици 8.



Слика 8. Анализирани положаји осовине аутобуса на бетонским плочама



Слика 9. Дијаграм напона у бетонској плочи услед дејства пнеуматика аутобуса

6.4 Валидација резултата прорачуна

Дуги низ година утицаји у бетонској плочи, конкретно напони савијања изазвани разликом температуре на доњој и горњој површини бетонске плоче, затим напони и угиби изазвани дејством саобраћајног оптерећења, одређују се аналитичким методама које одликује сложен и комплексан прорачун.

Утицаји у бетонској плочи услед разлике температуре на горњој и доњој површини рачунати су методом Бредбери-ја. [12] У табели 3 су приказани напони у бетонској плочи добијени методом Бредбери и помоћу софтвера TOWER.

Табела 3. Упоредијење напона у бетонској плочи услед температуре

		Bradbury	Tower 7
Напон на ивици плоче	$\sigma_{ex} \left[\frac{MN}{m^2} \right]$	1,38	1,43
	$\sigma_{ey} \left[\frac{MN}{m^2} \right]$	1,22	
Напон у унутрашњости плоче	$\sigma_{ix} \left[\frac{MN}{m^2} \right]$	1,69	1,67
	$\sigma_{iy} \left[\frac{MN}{m^2} \right]$	1,55	

Пикет и Реј [13] су на основу Вестергардове поставке разрадили нумерички и графички поступак за одређивање напона у бетонским коловозним конструкцијама. Применом њиховог поступка срачунати су напони на ивици и у унутрашњости бетонске плоче за бетонску плочу оптерећену осовином аутобуса. Прорачун је урађен за осовину која на бетонску плочу преноси оптерећење од 74kN. У табели 4 су приказани напони у бетонској плочи добијени применом методе Пикета и Реја и применом софтвера TOWER.

Табела 4. Упоредијење напона у бетонској плочи услед дејства аутобуса

		Pickett and Ray	Tower 7
Напон на ивици плоче	$\sigma_e [MPa]$	0,685	0.780
Напон у унутрашњости плоче	$\sigma_i [MPa]$	0,539	0.570

У оба случаја се може закључити да су добијене упоредиве вредности напона.

6.5 Суперпонирани утицаји од саобраћајног оптерећења и температуре

Максимални моменти услед суперпонираног дејства трамваја или аутобуса и температуре су приказани у табели 5.

Табела 5. Максимални моменти савијања у бетонској плочи

Конструкција система „Isolgamma City Track“		
Случај оптерећења	Трамвај + температура	Аутобус + температура
max Mx [kNm/m]	21.64	26.16
max My [kNm/m]	22.27	21.48
Конструкција система „Rheda City“		
Случај оптерећења	Трамвај + температура	Аутобус + температура
max Mx [kNm/m]	20.82	26.16
max My [kNm/m]	22.11	21.48

$$M_x = 26,16 \text{ kNm/m} \rightarrow \sigma = 2,32 \text{ MPa} < \beta_{3c} = 4 \text{ MPa}$$

$$M_y = 22,27 \text{ kNm/m} \rightarrow \sigma = 1,97 \text{ MPa} < \beta_{3c} = 4 \text{ MPa}$$

Добијене вредности напона су мање од чврстоће бетона на затезање при савијању, за марку бетона C25/30 (МБ30) која износи 4 MPa [10].

6.6 Провера бетонске плоче на замор

Анализа замора услед дејства саобраћајног оптерећења и температуре извршена је применом Минеровог правила:

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} < 1$$

где је:

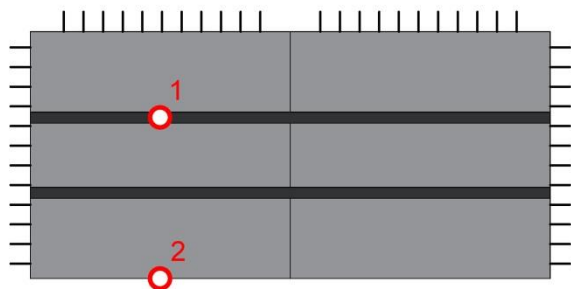
- i - број категорија (случајева) оптерећења,
- n_i - стварни број понављања оптерећења категорије i у току пројектног периода,
- N_i - дозвољени број понављања оптерећења категорије i .

Дозвољени број N_f понављања оптерећења које изазива напон σ у бетонској плочи одређен је применом модела које су дефинисали Дартер и Баренберг [11]:

$$\log N_f = 16.71 - 17.71 \cdot (\sigma / f_{zs})$$

где је са f_{zs} означена чврстоћа на затезање при савијању бетонске плоче.

Конструкција је анализирана на замор у два критична пресека: испод шине (на средини бетонске плоче) и на ивици бетонске плоче (слика 10). Анализом је утврђено да се на тим местима јављају највећи утицаји у бетонској плочи изазвани оптерећењем од трамваја, односно аутобуса.



Слика 10. Положај критичних пресека у којима је извршена анализа отпорности на замор

Резултати анализе конструкције на замор су приказани у табели 6.

Табела 6. Резултати анализе на замор

Конструкција система „Isolgomma City Track“	
Положај оптерећења	Коефицијент замора $\sum_i n_i / N_i$
1	0,7579
2	0,4536
Конструкција система „Rheda City“	
Положај оптерећења	Коефицијент замора $\sum_i n_i / N_i$
1	0,6836
2	0,4536

Имајући у виду да су сви коефицијенти замора мањи, а релативно блиски јединици, може се закључити да бетонска плоча дебљине 26 cm, израђена од марке бетона C25/30 (МБ30), у потпуности, за оба положаја, задовољава критеријуме отпорности на замор за пројектни период од 30 година.

7. УТИЦАЈ МАРКЕ БЕТОНА НА ПОТРЕБНУ ДЕБЉИНУ БЕТОНСКЕ ПЛОЧЕ

Анализом бетонске плоче, дебљине $d=26$ cm израђене од марке бетона C25/30 (МБ30), према допуштеним напонима и на замор, донесен је закључак да плоча задовољава постављене критеријуме.

У раду је такође извршена анализа утицаја марке бетона на дебљину бетонске плоче за дефинисано саобраћајно оптерећење и пројектни период од 30 година.

У случају примене веће марке бетона C30/37 (МБ35), анализом се добија потребна дебљина бетонске плоче $d=24$ cm која задовољава све дефинисане услове.

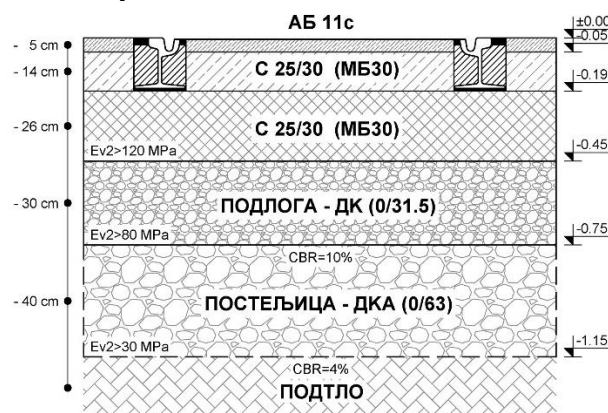
8. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказано димензионисање коловозне конструкције на тракама за мешовити саобраћај возила јавног градског превоза за два врло често примењивана конструктивна система: „RHEDA City“ са дисконтинуалним ослањањем и „Isolgomma City Track“ са континуалним ослањањем шина.

Анализом оба система закључено је да бетонска плоча дебљине 26 cm, израђена од марке бетона C25/30 (МБ30) задовољава у погледу отпорности на замор услед суперпонираних утицаја од трамвајског или аутобуског саобраћаја и температуре за пројектни период од 30 година. Примена дебљих плоча у датим условима оптерећења и климатских утицаја није оправдана.

Континуални систем ослањања има предност над дисконтинуално ослањањем пре свега због мањих деформација шине на увијање, а самим тим и мањег утицаја на подлогу. Са континуалним системом ослањања оптерећење од возила се распоређује на већу површину, брзина прираштаја оптерећења је мања, а снижава се и фреквенција.

На слици 11 је дато решење коловозне конструкције са системом „Isolgomma City Track“ са континуалним ослањањем шине.



Слика 11. Пројектно решење коловозне конструкције са Системом „Isolgomma City Track“

Литература / References

- [1] Бранковић, В., Томичић – Торлаковић, М.: Конструкције горњег строја пруга за лаке шинске системе у градовима, Београд, 2016.
- [2] Rheda City Ballastless Track System, Rail.One Gmbh, 2011.
- [3] Студија оптималних типова конструкција горњег строја трамвајских пруга, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, 2003.
- [4] Програмски пакет TOWER 7, Radimpex, Београд
- [5] Пројекат уређења колосека у тунелу "Чортановци" - Прорачун горњег строја на чврстој подлози, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, 2015.
- [6] Пројекат реконструкције трамвајске пруге, коловоза и тротоара у Булевару Ослобођења од Славије до Ветеринарског факултета, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, 2012.
- [7] Програмски пакет BISAR 3.0, Shell Bitumen Business Group, 1998.
- [8] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C. 1993.
- [9] Техничка документација ГСП Београд, стављена на располагање ауторима
- [10] SRPS U.E3.020. Пројектовање и грађење путева - Технички услови за израду цементнобетонског коловоза, Савезни завод за стандардизацију, Београд, 1987.
- [11] Darter, M.I. and E.J. Barenberg. Zero-Maintenance Pavement: Field Studies on the Performance Requirements and Capabilities of Conventional Pavement Systems, Report FHWA RD-76-105, FHWA, 1976.
- [12] Bradbury D.F. Reinforced Concrete Pavements, Wire Reinforcement Institute, Washington D.C., 1938.
- [13] Picket R., Ray G.K. Influence charts for Concrete Pavements, ASCE Transactions, Vol. 116, 1951.