

**ПРОЈЕКАТ МОСТА ДУШАНОВАЦ-ПРАХОВО НА СТАЦИОНАЖИ КМ 6+734.824  
ЛЕВО И КМ 6+801.266 ДЕСНО****DESIGN OF BRIGE DUŠANOVAC-PRAHOVO AT THE STATION 6+734.824 LEFT AND  
6+801.266 RIGHT**

Маја Драгичевић, Игор Цолев, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Oblast – ГРАЂЕВИНАРСТВО**

**Kratak sadržaj** – У овом раду приказана је анализа армиранобетонске-преднапрегнуте конструкције са монтажним начином градње распонске конструкције, према важећим европским стандардима. Усвојеним статичким системом остварена је монолитна веза средњих стубова и распонске конструкције, чиме је избегнут значајан број лежишта. Урађен је статички прорачун, димензионисање и усвајање арматуре. Поузданост прорачуна је контролисана упоредним креирањем нумеричког рачунског модела у два различита програмска пакета.

**Кључне речи:** армиранобетонска-преднапрегнута конструкција, монтажни „Т” носачи, европски стандарди.

**Abstract** – In this paper, a reinforced concrete prestressed structure with the assembly method of building a span structure, according to European standards, is analysed. The static structural system adopted a monolithic connection of the middle columns and the main girder, which avoided a significant number of bearings. Static calculation, dimensioning and design of reinforcement were done. Reliability of the calculation was controlled by the comparison of the numerical calculation models, which were developed in two different software packages.

**Keywords:** reinforced concrete-prestressed structure, prefabricated “T” beams, European standards.

**1. УВОД**

Реконструкција и изградња постојеће путне мреже (државни пут Па реда број 168 и државни пут Пб реда број 400) у државни пут Ib реда, од државног пута Ib реда број 35 од чвора Душановац до краја ко Прахово. На овој траси Душановац-Прахово пројектованој за брзину од 50 km/h, уместо постојећег путног прелаза у нивоу, пројектован је нови друмски надвожњак на стационажи км 6+734.824 лево и км 6+801.266 преко железничке пруге.

**2. ТЕХНИЧКИ ОПИС****2.1. Саобраћајни услови**

Друмски надвожњак је на стационажи км 6+734.824 лево и км 801.266 десно преко изливне железничке пруге под углом 90°. Попречни нагиб моста је 2,5%. На тој деоници усвојене су следеће димензије попреч-



Слика 1. 3Д модел конструкције ног профила пута. Профил чине две коловозне траке са по две саобраћајне траке у сваком смеру раздвојене разделним острвом:

- ширина коловоза 2x6,50 m
- ширина разделног острва 1,50 m
- ширина саобраћајне траке 3,25 m
- ширина возне траке 3,0 m
- ширина ивичне траке 0,25 m
- ширина банке 2x2,75 m

**2.2. Диспозиција**

Диспозиционим решењем пројектован је мост рамовског система. Укупна дужина моста је 65 m и састоји се од три распона чија дужина износи 20 + 25 + 20 m. Карактеристичан попречни пресек распонске конструкције садржи пешачку стазу ширине 150 cm, одбојну ограду са сигурносним простором укупне ширине 2,75 m, возне траке, зауставне траке, ивичне траке и појас између одбојних ограда у зони разделног појаса. С десне стране простор за смештај ивичњака и одбојне оgrade је укупне ширине 65 cm. Ширина моста једне траке саобраћајнице је усклађена са ширином коловоза и захтевима пројектног задатка и износи:

- ширина коловоза: 6,50 m
- ширина пешачких стаза: 2,75 m
- ширина ревизионих стаза: 0,65 m
- укупна ширина моста једне траке: 9,00 m
- укупна ширина моста обе траке: 20,0 m

Горњи stroj конструкције састоји се од 5 монтажних армиранобетонских „Т” носача, међусобно повезаних коловозном плочом дебљине  $d = 20$  cm. У фази монтаже, носачи су статичког система просте греде. Плоча се над средњим стубовима лије заједно са попречним носачима и везује круто са главним

**НАПОМЕНА:**

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био др Игор Цолев, доцент.

носачима, чиме се у фази експлоатације добија интегрални рамовски систем и на тај начин избегавају слаба места (дилатације, лежишта, продор воде), што олакшава одржавање моста и продужава трајност [1]. На обалним стубовима распонска конструкција се ослања на лежишта. Попречни пресек носача је „Г” облика, висине  $d = 1,35$  m, монтажни носач  $+ 0,20$  m плоча и ширина ребра 40 cm. Монтажни носачи распона 20,0 m утежу се са по укупно 3 кабла  $7\text{Ø}15,2$ , док код распона 25,0 m, први кабел је  $12\text{Ø}15,2$ , а други и трећи  $7\text{Ø}15,2$ .

Средњи стубови моста састоје се од по два стуба, димензија  $1,50 \times 1,00$  m, висине 7,11 m. Изнад средишњих стубова лије се лежишна греда, димензија  $1,80 \times 1,55$  m која са попречним носачима горњег строја, димензија  $0,80 \times 1,65$  m, чини круту везу конструкције. Дужина лежишних греда и поречних носача је 9,20 m. Средњи стубови су фундирани на три шипа  $\text{Ø}120$  cm, дужине 8,90 m који су међусобно повезани наглавном гредом димензија  $1,70 \times 1,80$  m, дужине 9,60 m. Крајње стубове моста чини ослоначка греда са попречним носачима, крилним зидовима и парпетом испред шипова. Ослоначка греда са попречним носачима се изводи из две фазе бетонирања. Прва фаза обухвата бетонирање до кога ослањана главних носача, а у другој фази се бетонира попречни носач заједно са коловозном плочом и главним носачима ради остваривања круте везе. Ослоначка греда крајњег стуба, димензија  $2,00 \times 1,90$  m, се ослања на три шипа  $\text{Ø}120$  cm дужине 16,55 m [2].

За прелаз са моста на труп пута, предвиђене су прелазне плоче, дужине 5,70 m и дебљине 20 cm, ослоњене на ослоначку греду преко кратког елемента. Испред и иза моста, а због разлике крутости насипа пута и објекта, предвиђена је израда шљунчаног клина између крилних зидова [3]. Да би се елиминисала појава хидростатичког притиска на зид и крила крајњих стубова, те да би се спречило продирање површинске воде у насип иза крајњих стубова, испред слоја шљунчаног клина, дуж читаве висине зида крајњих стубова, уграђује се филтерски слој од чистог крупнозрног шљунка дебљине 1 m умотаног у геотекстил [4]. Испод шљунчаног клина и филтерског слоја уз наглавну греду се уграђује шљунчано-пешчано цементна стабилизација у паду од 10%. Начин и дубина фундирања су одређени на бази геолошко-геотехничких испитивања и података срачунатих и интерпретираних у геолошко-геотехничком елаборату.

### 3. АНАЛИЗА ОПТЕРЕЂЕЊА

Стално оптерећење чине сопствена тежина конструкције (распонска конструкција, лежишна греда, ивични венац, пешачке стазе крила, попречни носачи, наглавна греда, шипови, прелазне плоче, стубови) и тежина неносећих елемената. Сопствена тежина носећих елемената се прорачунава софтвером, а тежина неносећих елемената на основу запреминске тежине и запремине елемента, дефинисане према EN 1991-1-1:2012 [5].

Оптерећење снегом се рачуна према европском стандарду EN 1991-1-3:2017 [6]. Како на предметној

површини не може истовремено бити већа количина снега и возила, а саобраћајно оптерећење је својим износом веће и од најнеповољнијег снега, оптерећење снегом не узима се у обзир при прорачуну у комбинацији са саобраћајним оптерећењем.

Оптерећење ветром је срачунато према европском стандарду EN 1991-1-4:2012 [7], као дејство ветра на распонску конструкцију са саобраћајним оптерећењем, срачунато као површинско оптерећење и затим је конвертовано и задато као линијско оптерећење.

Оптерећење температуром је срачунато према европском стандарду EN 1991-1-5:2012 [8], на основу улазних параметара: надморске висине, најниже и највише температуре ваздуха.

Корисно оптерећење је срачунато према европском стандарду EN 1991-2:2012 [9], за возила модела LM1 са комбинацијом концентрисаних сила и одговарајућим пратећим расподељеним оптерећењем. Оптерећују се две рачунске траке, са силама 300 kN, 200 kN, и силама од 100 kN у свим комбинацијама возила. Софтвер аутоматски узима у обзир најнеповољнији положај возила, с обзиром на положај у попречном смислу који задаје корисник.

Скупљање бетона обухвата дуготрајне процесе скупљања и течења бетона те релаксацију каблова за преднапрезање. Коefицијент течења  $\phi(t, t_0)$  и релативне деформације скупљања  $\epsilon_{cs}$  су узети у складу са прописима за релативну влажност околине 70%.

Сеизмичко оптерећење се прорачунава помоћу софтвера, Tower 8.0 [10], који нуди опцију сеизмичког прорачуна према еврокод стандарду EN 1998-2:2012 [11] мултимодалном спектралном анализом и EN 1998-5:2012 [12] уз обухватање геотехничких аспеката прорачуна.

Оптерећење од насипа се израчунава према еврокод стандарду EN 1997-1:2017 [13], уз прорачун динамичког коefицијента притиска земље према Мононобе-Окабе методи.

#### 3.1. Преднапрезање

Детаљније ће бити приказано накнадно претходно напрезања из разлога што је за мост који је предмет самог рада усвојен систем од накнадно преднапрегнутих носача [14]. Усвајају се ужади система SPB SUPER класе В, затезне чврстоће  $1860 \text{ N/mm}^2$ , састављена од 7 глатких жица, номиналног пречника 15,2. Монтажни носачи распона 20,0 m утежу се са по укупно 3 кабла  $7\text{Ø}15,2$ , док код распона 25,0 m, први кабел је  $12\text{Ø}15,2$ , а други и трећи  $7\text{Ø}15,2$ .

*Највећа сила затезања у ужету током преднапрезања (пре тренутних губитака и пре губитака који зависе од времена):*

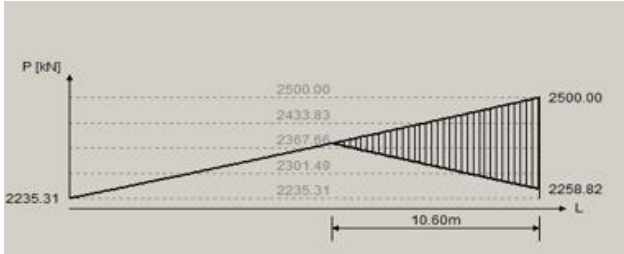
$$P_{\text{max}} = A_p \times \min(k_1 \times f_{pk}; k_2 \times f_{p0,1k}) \\ = \min(209; 211) = 209 \text{ kN} \quad (1)$$

*Почетна сила преднапрезања у ужету (после тренутних губитака, а пре губитака који зависе од времена):*

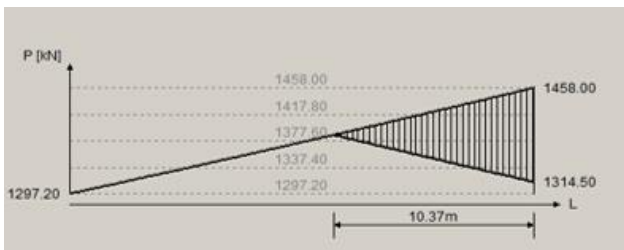
$$P_{to} \leq A_p \times \min(k7x f_{pk}; k8x f_{p0,1k}) = \min(195; 199) = 195 \text{ kN} \quad (2)$$

Ограничење напона у ужету за карактеристичну комбинацију оптерећења (гранична стања употребљивости) са силом преднапрезања након свих губитака:

$$k5 \times f_{pk} = 0,75 \times f_{yk} = 1252 \text{ kN} \quad (3)$$



Слика 2. Губици силе преднапрезања услед трења и заклињавања (12Ø15,2)



Слика 3. Губици силе преднапрезања услед трења и заклињавања (7Ø15,2)

### 3.2. Статички прорачун

Формиран је прорачунски модел у програму Tower 8.0, који се састоји из два прорачунска модела. Модел 1 садржи леву половину моста са распонском конструкцијом ослоњеном на тачкасте ослонце, односно горњи и доњи строј се засебно моделирају. Модел 2 садржи леву половину моста са распонском конструкцијом и средњим стубовима (али не и крајњим стубовима). Модел 3 садржи и крајње стубове, односно лежишну греду са шиповима.

Монтажни мост се моделира са линијским елементима, при чему се свака греда моделира засебно. Коловозна плоча се моделира помоћу површинских елемената, али јој се дефинише својство ортотропије (носивост само у попречном правцу). На тај начин се реално моделира прерасподела између гредних носача.

Рачунски модели у Tower-у служе првенствено за одређивање статичких утицаја за релевантне случајеве оптерећења (и комбинације), за контролу одређивања почетних губитака силе претходног напрезања, као и за приближну контролу добијених резултата контроле напона.

### 3.3. Контрола напона

Ограничење напона притиска у бетону прорачунава се према EN 1992-2:2014 [15] за мостове (гранично стање употребљивости). Ограничење напона притиска у бетону ради избегавања појаве подужних прелина и микропрелина износи:

$$- \text{ за карактеристичну (ретку) комбинацију оптерећења } 0,6 \times f_{ck,cyl} = 0,60 \times 35 \text{ MPa} = 21 \text{ MPa} \quad (4)$$

- при наношењу силе преднапрезања (пре губитака), према SRPS EN 1992-1-1/NA:2015 [16]

$$0,7 \times (0,75 \times f_{c,cyl}) = 0,70 \times (0,75 \times 35) = 17,15 \text{ MPa} \quad (5)$$

Ограничење напона затезања у бетону према EN 1992-1-1:2015 [17]

$$- \text{ за карактеристичну (ретку) комбинацију оптерећења } f_{ctm} = 3,21 \text{ MPa} \quad (6)$$

Извршене су све прорачунске контроле и на основу њих се може закључити да су сви напони у оквиру допуштених.

### 3.4. Динамички прорачун

Након спроведене модалне анализе конструкције, приступа се дефинисању параметара за прорачун сеизмичких сила. Програмски пакет нуди опцију сеизмичког прорачуна према европским стандардима, преко мултимодалне спектралне анализе која се сврстава у групу линеарно-еластичних анализа.

Табела 1. Периоди осциловања конструкције

No	T [s]	f [Hz]
1	1,2240	0,8170
2	0,8367	1,1951
3	0,6973	1,4340
4	0,2339	4,2757
5	0,2249	4,4459
6	0,2212	4,5212
7	0,2057	4,8814
8	0,1808	5,5318
9	0,1730	5,7790
10	0,1723	5,8038

Сеизмичка анализа се спроводи у складу са правилима и препорукама европског стандарда EN 1998-2:2012 који садржи правила, сеизмичка дејства и правила за мостове.

Табела 2. Параметри за сеизмички прорачун

Категорија тла:	C
Категорија значаја:	III ( $\gamma=1,2$ )
Однос $ag/g$ :	0,15
Фактор понашања:	1,00
Коефицијент пригушења:	0,05
S:	1,05
Tb:	0,07
Tc:	0,70
Td:	3,00

### 3.5. Димензионисање

Елементи моста се димензионишу према граничном стању носивости, према максималним статичким утицајима добијеним прорачуном у софтверском пакету коришћеном за овај пројекат. Према европским стандардима, носивост на савијање и

смицање се израчунавају према стандарду EN 1992-1-1:2015.

### 3.6. Контрола деформација

Извршена је контрола угиба. Проверено је колико је одизање монтажног носача након утезања ужади, очвршћавања бетона носача, обављеног скупљања и течења бетона и релаксације челика, додатног оптерећења и температурне разлике.

Укупан коначан угиб за распон  $L = 25,0$  m износи 58,4 mm.

Укупан коначан угиб за распон  $L = 20,0$  m износи 31,80 mm.

### 3.7. Лежишта и дилатационе спојнице

На основу реакција добијених из комбинација за гранична стања носивости и употребљивости, усвајају се лежишта са одговарајућим крутостима из каталога Fixed Elastofip.

ознака	code	ЕФ125-13	
номинална вертикална сила	$F_{vd}$	1250	kN
максимална хоризонтална сила	$F_{ty}$	130	kN
деформација којој одговара макс. хор. сили		40,4	mm
хоризонтална крутост	$K_{\theta}$	3,22	kN/mm
вертикална крутост	$K_{\nu}$	993	kN/mm

Слика 4. Усвојени тип лежишта

## 4. ЗАКЉУЧАК

На основу претходно изложених прорачуна на примеру моста, може се закључити да су резултати прорачуна напона, добијени у оквиру табеларног прорачуна, у оквиру допуштених. Прорачун напона добијен софтверским пакетом Sofistik [18], који је такође приказан у оквиру мастер рада, не разликује се значајно од напона добијених табеларним прорачуном (напони су проверени за поједине случајеве оптерећења). Мала разлика у напонима може да буде последица реологије која обухвата дуготрајне процесе скупљања и течења, с обзиром да софтверски пакет Sofistik даје прецизније резултате.

Усвојени број ужади за претходно напрезање на стази у наведеном примеру је задовољавајући, те није потребно вршити корекцију.

Одизање монтажног носача након утезања ужати, очвршћавања бетона носача, обављеног скупљања и течења бетона и релаксације челика, додатног оптерећења и температуре је испод границе, чиме је и контрола угиба задовољена.

Максимално померање на месту усвојених лежишта из каталога је  $h_r = 32,08$  mm, што је у оквиру допуштених.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мишко Гуњача: Приручник за пројектовање, надзор код изградње и изградњу мостовских конструкција према SRPS EN 1990-1998/NA, 2021.
- [2] SRPS EN 1993-5:2012 Еврокод 3 - Пројектовање челичних конструкција – Део 5: Шипови.
- [3] Андрија Рашета, Игор Џолев: Пројектовање бетонских и металних мостова, део Бетонски мостови, Радни материјал за предавања и вежбе, 2022.

- [4] O Brooker, P A Jackson, S W Salim: Concise Eurocode 2 for bridges, 2009.
- [5] SRPS EN 1991-1-1:2012 Еврокод 1 - Дејства на конструкције - Део 1-1: Општа дејства - Запреминске тежине, сопствена тежина, корисна оптерећења за зграде.
- [6] SRPS EN 1991-1-3:2017 Еврокод 1 - Дејства на конструкције - Део 1-3: Општа дејства - Оптерећења снегом.
- [7] SRPS EN 1991-1-4:2012 Еврокод 1 - Дејства на конструкције - Део 1-4: Општа дејства - Дејства ветра.
- [8] SRPS EN 1991-1-5:2012 Еврокод 1 - Дејства на конструкције - Део 1-5: Општа дејства - Топлотна дејства.
- [9] SRPS EN 1991-2:2012 Еврокод 1 - Дејства на конструкције - Део 2: Саобраћајно оптерећење на мостовима.
- [10] Tower 8.0, 2022, <https://www.radimpex.rs/sr/tower>
- [11] SRPS EN 1998-2:2012 - Еврокод 8 - Пројектовање сеизмички отпорних конструкција - Део 2: Мостови.
- [12] SRPS EN 1998-5:2012 - Еврокод 8 - Пројектовање сеизмички отпорних конструкција – Део 5: Темелји, потпорне конструкције и геотехнички аспекти.
- [13] SRPS EN 1997-1:2017 - Еврокод 7 - Геотехничко пројектовање - Део 1: Општа правила.
- [14] Вања Алендер: Претходно-напрегнути бетон, 2003.
- [15] SRPS EN 1992-2:2014 Еврокод 2 –Пројектовање бетонских конструкција - Бетонски мостови - Правила пројектовања и конструисања.
- [16] SRPS EN 1992-1-1/NA:2015 Еврокод 2 – Пројектовање бетонских конструкција - Део 1-1: Општа правила и правила за зграде - Национални прилог.
- [17] SRPS EN 1992-1-1:2015 Еврокод 2 –Пројектовање бетонских конструкција - Део 1-1: Општа правила и правила за зграде.
- [18] Sofistik, 2022, <https://www.sofistik.de/>

### Кратка биографија:



**Маја Драгичевић** рођена је у Власеници 1997. год. Октобра 2016. год. уписује студијски програм Грађевинарство на Факултету техничких наука у Новом Саду. Октобра 2021. год. стиче звање дипломираног инжењера грађевинарства. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Пројектовања бетонских мостова одбранила је 2022. године.

контакт:  
maja.dragicevic015@gmail.com