

## АНАЛИЗА ДИСТРИБУЦИЈЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖЕЊА У ЈЕДНОМ БЕТОНСКОМ МОСТУ

Жељка Д. Радовановић<sup>1</sup>

УДК: 624.042.5:624.21

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.022

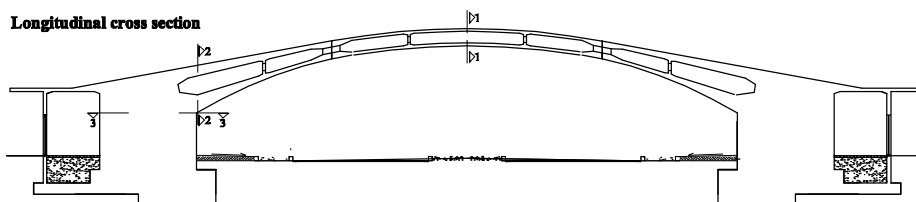
**Резиме:** *Рад је фокусиран на анализу дистрибуције температуре унутар бетона моста, која настаје услед дјеловања температуре у окружењу. У раду су представљени резултати експерименталних истраживања извршених на пјешачком армиранобетонском мосту сандучастог попречног пресека.*

**Кључне речи:** *мостови, бетон, температура, сандучастог попречни пресеци*

### 1. УВОД

Пјешачки армиранобетонски мост „Забјело“, лоциран у Подгорици, инструментализован је у фази грађења у циљу бољег сагледавања дејства температуре на мостове. Мост је рамовска конструкција са лучном сандучастом гредом ослоњеном на пуне ослонце. Распон конструкције је 28 m. Ширина сандука је 1.5 m, а висина му варира од 0.9 m у средини распона до 2.45 m у ослонцима.

Кроз пет серија мјерења, (двје јесење, и по једна зимска, пролећна и летња серија, у току два дана, са снимањем података на сваких пола сата) које су извршене током 2006-2007. године, праћене су температуре унутар бетона и мјерене дилатације, у три карактеристична попречна пресека, као што је приказано на слици 1.



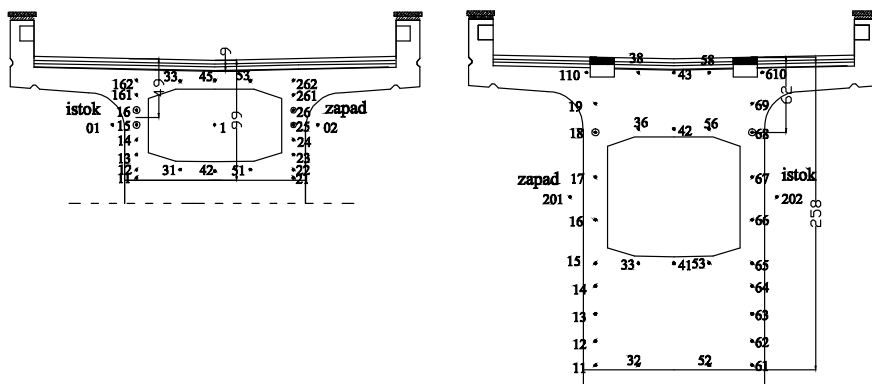
Слика 1. Подужни пресек моста и опремљени попречни пресеци

Такође су мјерена вертикална помјерања нивелете и праћене промјене температуре и влаге у непосредном окружењу моста.

<sup>1</sup> Доц. др Жељка Радовановић, дипл. инж. грађ, Универзитет Црне Горе, Грађевински факултет Подгорица, Џорџа Вашингтона б.б, 81000 Подгорица, Црна Гора, tel: +382 20 244-905, e-mail: [radovanovic@t-com.me](mailto:radovanovic@t-com.me)

## 2. УГРАЂЕНА МЈЕРНА ОПРЕМА

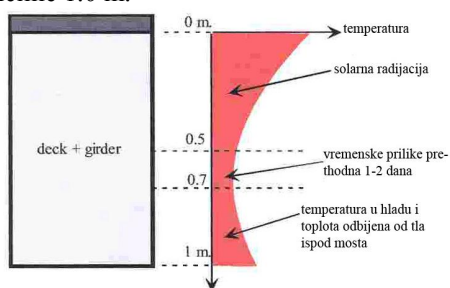
Укупно 76 термопарова и 50 мјерних трака је уграђено у току изградње моста. Термопарови типа Т, произвођач „ТМЛ“ Јапан, су коришћени за мјерење температуре у бетону. Положај термопарова приказан је на слици 2.



Слика 2. Попречни пресеци 1-1 и 2-2 са назначеним положајем термопарова

## 3. ДИСТРИБУЦИЈА ТЕМПЕРАТУРЕ ПО ВИСИНИ ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЈЕКА МОСТА

Emerson Mery је дефинисала факторе који утичу на дистрибуцију температуре по висини у мостовима пуног попречног пресека, [3]. На слици 2 приказани су фактори који утичу на температуру у бетону на одређеној дубини у мосту пуног попречног пресека, висине 1.0 m.

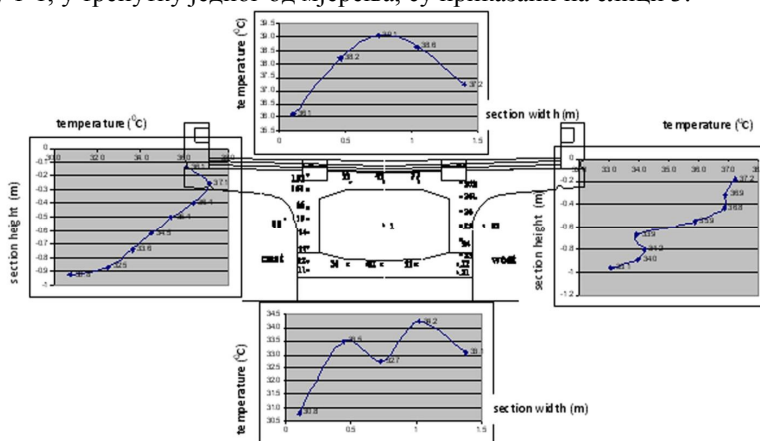


Слика 2. Фактори који утичу на дистрибуцију температуре по дубини попречног пресека моста, [2]

Емерсон закључује да су средње, ефективне, температуре у бетону у највећем степену последица дејства температуре окружења која дјелује у току претходна 1-2 дана и да се региструју на дубини од 0.5 m до 0.7 m од горње површине моста. Температурна разлика представљаја разлику температура у бетону на једној површина, доњој или горњој, и температуре на одређеној дубини.

#### 4. ТЕМПЕРАТУРЕ РЕГИСТРОВАНЕ У БЕТОНУ

„TML-ov Datalogger“ је регистровао измјерене температуре и дилатације. Подаци су читавани у три узастопна читања за све податке мјерења. Температуре у пресеку су израчунате као просјечне температуре три усатопна читања. Вриједности измјерене температуре унутар бетона и дистрибуција температуре у пресеку 1-1, у тренутку једног од мјерења, су приказани на слици 3.



Слика 3. Температуре регистроване у пресеку 1-1, мјерење од 23.06.2007. у 3:00

##### 4.1. Средње-ефективне температуре у бетону

Ефективна температура у бетону је срачуната за свако извршено мјерење на основу једначине (1)

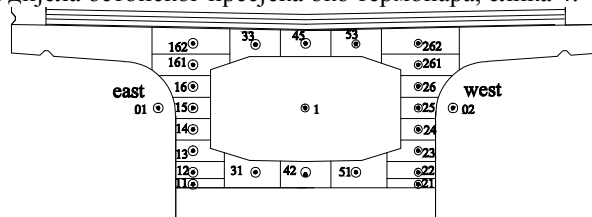
$$T_{\text{ef},T} = \frac{\sum A_i T_i}{A} \quad (1)$$

Гдје је:

$T_{\text{ef},T}$  – ефективна температура у бетону у тренутку  $T$ ,

$T_i$  – температура измјерена на термопаровима,

$A_i$  – површина дијела бетонског пресека око термопара, слика 4.



Слика 4. Одређивања ефективних температура у бетону у пресеку 1-1

Након анализе многобројних резултата мјерења на термопаровима, прикупљених у свих пет серија, закључује се да се на одређеним термопаровима мјере температуре које мало варирају у току дана. Констатовано је да се у пресјеку 1-1 зона ефективних температура у бетону налази на дубини од око 0.5 m, а у пресјеку 2-2 на дубини од око 0.6 m, што је означено на слици 2.

На основу анализе доступне литературе и тумачења графика зависности средњих температура у бетону и сатних температура ваздуха у хладу направљених на основу спроведених истраживања закључено је да:

- Минималне ефективне температуре у бетону се за наше подручје региструју ујутро у 7:00 ± 1:00 сати, и зависе од температура које се у окружењу дешавају у дужем временском трајању;
- Максималне ефективне температуре у бетону се региструју у периду од 16:00 до 19:00 сати, зависно од годишњег доба;
- Минималне ефективне температуре у бетону не зависе од геометрије попречног пресека;
- Промјена ефективних температура током дана, од минималних до максималних у функцији су промјена сатних температура ваздуха у хладу и интензитета соларне радијације.

У табели 1 је дат преглед минималних и максималних ефективних температура у бетину и сати када су регистроване читавањем мјерном опремом.

Табела 1. Минималне и максималне ефективне температуре у бетону

Пресјек 1-1	min T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	max T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	traje
4.11- 5.11.2006.	3.3°C	7:00-7:30	3 sata	6.7°C	16:00	2 sata	2.5 sata
3.02-4.02.2007.	6.1°C	7:30-8:00	2 sata	8.3°C	16:00	3 sata	3.5 sata
14.04-15.04.2007.	21.2°C	9:30	4 sata	26.4°C	18:00	4 sata	2.5 sata
23.06-24.06.2007.	33.5°C	9:00	4 sata	38.5°C	18:30	3.5 sata	3 sata
Пресјек 2-2	min T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	max T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	traje
4.11- 5.11.2006.	5.1°C	7:30	1.5 sat	7.4°C	16:00	3 sata	1.5 sat
3.02-4.02.2007.	6.3°C	9:30	3.5 sata	7.8°C	17:30	3.5 sata	4 sata
14.04-15.04.2007.	20.5°C	7:00-7:30	2 sata	24.1°C	18:00	3 sata	2 sata
23.06-24.06.2007.	32.7°C	6:30-7:00	2 sata	35.8°C	19:00	4 sata	4 sata
Пресјек 3-3	min T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	max T <sub>sr,b</sub>	sati	kasni	traje
4.11- 5.11.2006.	9.8°C	6:00-6:30	-	12.6°C	11:00	-	-
3.02-4.02.2007.	6.5°C	6:00-7:30	-	7.9°C	14:30	-	-
14.04-15.04.2007.	19°C	7:00	-	22.1°C	17:30	-	2 sata
23.06-24.06.2007.	31°C	6:00	-	33.9°C	18:30	-	3 sata

Максималне дневне варијације средњих температура у бетону износе: у пресјеку 1-1, 5°C; у пресјеку 2-2, 3.5°C; у пресјеку 3-3, 3°C.

## 4.2. Униформна компонента температуре

Вриједности униформне компоненте температуре, на коју се конструкција пројектује, представља разлику одговарајуће екстремне ефективне температуре и

почетне температуре. У оквиру овог истраживања дефинисана су једначине зависности ефективних температура у бетону и средњих дневних температура ваздуха у хладу. Спроведена истраживања указују да је сасвим оправдан став у америчким прописима, које наводи Кореј К, [4], да се почетна температура у бетону дефинише као средња дневна температура ваздуха у хладу регистрована у дану прије затварања конструкције.

### 4.3 Температурне разлике у мосту

Факторе који утичу на температурне разлике у попречним пресјецима мостова можемо подијелити на факторе условљене временским приликама у окружењу и на факторе условљене конструкцијом моста. Од фактора у окружењу на температурне разлике утичу: интензитет соларне радијације, оријентација моста у односу на положај сунца, годишње доба, период дана у којем је вршено мјерење, временске прилике у претходном периоду. Карактеристике моста које утичу на температурне разлике су: висина и ширина попречног пресјека, његов облик, као и дебелина слојева на армиранобетонској плочи.

Температурне разлике по висини и ширини моста се мијењају током дана, тако да се у току дана у пресјецима, и по висини и по ширини, региструју и позитивне и негативне температурне разлике. Ова појава је регистрована у свим серијама мјерења и није везана за одређено годишње доба.

Постоји одређена законитост дистрибуције температуре у пресјеку у току дана, међутим она је различитог карактера у тјемени у односу на ослонац. Промјена температуре у бетону по дубини се разликују зависно од оријентације елемента на којем су вршена мјерења. Температурне разлике никада нису исте у источним и западним ребрима сандука. Источна ребра имају веће максималне регистроване разлике, али су зато у западним ребрима веће разлике у ноћном периоду. Попречни пресјецци на мосту имају врло разнолику слику промјена температурних разлика по висини и ширини. Са великом вјероватноћом дешавају се температурне разлике од  $10^{\circ}\text{C}$  у попречним пресјецима бетонских мостова, те је сасвим оправдано усвојити нелинеарну дистрибуцију температуре по висини, како то предлаже европски пропис EN 1991-1-5. Максималне температурне разлике у мосту јављају се у било које доба дана или године, али најчешће у прољеће и љето и могу се поклопити са данима у којима се региструју максималне униформне компоненте температуре, те је стога нужно конструкције пројектовати за истовремено дјеловање униформне компоненте температуре и температурних разлика.

Код мостова, спријечених помјерања, обавезно би требало узети у обзир, у фази пројектовања конструкције, температурну разлику по ширини пресјека без обзира на ширину попречног пресјека моста. Стандард EN 1991-1-5 захтијева да се при пројектовању мостова узму обзир температурне разлике по ширини моста у износу од  $5^{\circ}\text{C}$ . Спроведено истраживање потврђује оправданост овог става.

Температурне разлике су утицај који у мостовима поред савијања производи и утицаје смицања изазване трансферзалним силама и торзијом. Температурне разлике по ширини попречног пресјека израженије су код мостова оријентације

сјевер-југ. Овај закључак посебно је важан за избор лежишта код широких мостова ове оријентације.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Дистрибуција температуре окружења унутар бетона моста изузетно је сложен феномен, који постојећи рачунски модели за пројектовање конструкција не могу ваљано да обухвате. У прописима се дејство температуре посматра на поједностављен начин, подјелом температурног профила на униформну компоненту и температурну разлику. Спроведена истраживања указују да вертикална помјерања моста доминантно настају усљед дјеловања униформне компоненте, утицај вертикалних температурних разлика је знатно мањи.

Код широких мостова оријентације сјевер југ, спријечених помјерања, обавезно би у фази пројектовања конструкције требали узети у обзир температурне разлике по ширини пресека.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges: “Structures Design Guidelines for Load Factor Design“, 2000, 209 pp
- [2] Dimitri Soukov: “Thermal Action in the Eurocode 1- Action on Structures”, LACER No.5, 2000, pp 379-386
- [3] Emerson M.: “Calculation of the Distribution of Temperature in Bridges”, TRRL Laboratory Report 561, Crowthorne, Berkshire, 1973, 32 pp.
- [4] Korej K.: “Thermal Effects in the Suspension Bridges”, PhD thesis, 2004, 64 pp.
- [5] Radovanović Ž., Ulićević M.: “Uticaj temperature na mostove sandučastog poprečnog presjeka”, Materijali i konstrukcije, 2007, br. 4 str. 36-52
- [6] Radovanović, Ž.: Bridge Deformation Induced by Environmental Temperature, *International Conference Multidisciplinary Modelling and Design of Building Materials and Structures*, Subotica, 2007, pp. 273-278.
- [7] Římal J.: “Experimental Investigation of Structures and Materials” Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, 2003, 45 pp.

## ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE DISTRIBUTION IN ONE CONCRETE BRIDGE

**Summary:** *The work is focused on the analysis of temperature distribution within concrete bridge that is induced by action of environmental temperature. Results of experimental researches that were done in one pedestrian bridge, with concrete box cross section, are presented in this paper.*

**Keywords:** *bridges, concrete, temperature, box cross sections*