

ZAŤAŽOVACIA SKÚŠKA SKÚŠOBNEJ LAMELY EXTRADOSOVÉHO MOSTA V POVAŽŠKEJ BYSTRICI

Milan Chandoga¹ – Ján Sedlák² – Andrej Prítula³ – Ján Kucharík⁴

ABSTRAKT

Článok sa zaoberá overením technológie a kvality realizácie priečného rezu trámu diaľničného extradosoého mosta v Považskej Bystrici na vzorke skúšobnej lamely v merítku 1:1. Nakoľko priečny rez extradosoého mosta je značne členený, navyše zostavovaný z monolitických a prefabrikovaných častí, cieľom skúšky bolo aj overenie statického pôsobenia a únosnosti niektorých častí a prvkov lamely a ich tuhostného odporu pri vnášaní predpätia. V príspevku sú uvedené niektoré zaujímavé výsledky z betonáže a zaťažovacej skúšky lamely.

1 ÚVOD

Vzhľadom na skutočnosť, že ide o prvú realizáciu estakády extradosoého typu s priečnym rezom trámu na celú šírku diaľničnej komunikácie na Slovensku, požadovala NDS, a.s. v tendrovej dokumentácii vykonanie viacero overovacích skúšok. Väčšina z nich bola overená pred výstavbou mosta na tzv. skúšobnej lamele, pozri obr.1. Na skúšobnej lamele boli vykonané dva typy skúšok:

- Prvou skúškou bolo preukázanie spoľahlivosti vyhotovenia a betonáže skúšobnej lamely zhodnou technológiou ako bude použitá pri výstavbe mosta. V tomto štádiu sa overovala spracovateľnosť, hydratačná teplota, mechanické a reologické vlastnosti betónov lamely.

- Druhou skúškou bolo overenie statického pôsobenia a únosnosti niektorých častí a prvkov lamely a ich tuhostného odporu pri vnášaní predpätia. Na sledovanie napätosti a pretvorenia lamely boli využité zaťažovacie účinky priečného predpätia mostovky a vonkajšieho zaťaženia lamely, pozri obr.6.

Do celkovej koncepcie tendrových požiadaviek na monitoring mosta treba zaradiť aj sledovanie napätosti vo vybraných častiach a prvkoch mosta počas výstavby a po uvedení mosta do prevádzky. Ide o sledovanie napätosti v betóne pomocou strunových tenzometrov a napätosti v predpínacej výstuži injektovaných kábloch a extradosoých závesoch. Tieto výsledky nie sú predmetom tohto príspevku.⁷

2 VYHOTOVENIE SKÚŠOBNEJ LAMELY

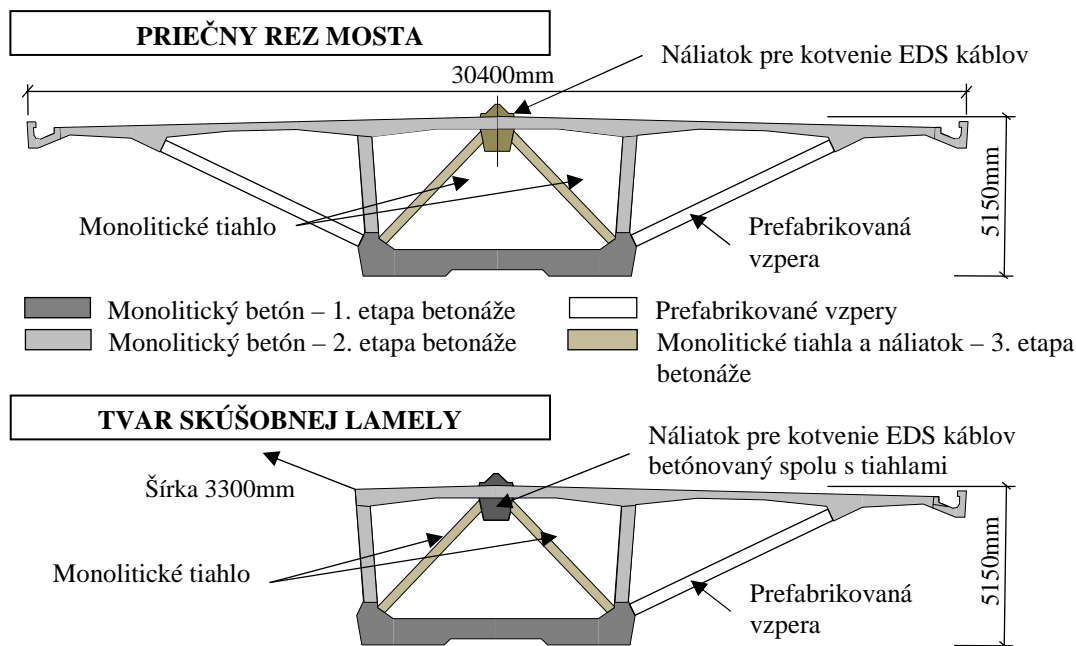
Na obrázku č.1 je znázornený tvar priečného rezu realizovaného mosta ako aj tvar skúšobnej lamely. Skúšobná lamela bola vyhotovená v dvoch etapách. V prvej etape bola vybetónovaná komora s otvorom pre osadenie oceľových prvkov kotvenia závesu a šikmých tiahel komory. V druhej etape, po osadení prechodovej rúry kotvenia závesu a predpínacích tyčí šikmých tiahel, boli tieto prvky zabetónované betónom so špeciálnou receptúrou. Z tohto hľadiska bola výroba skúšobnej lamely vhodným testom pre overenie vystužovania, ukladania a zhutňovania betónov navrhnutých receptúr.

¹ Doc. Ing. PhD., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra betónových konštrukcií a mostov Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: (02)59274-549 e-mail: milan.chandoga@stuba.sk

² Ing., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra betónových konštrukcií a mostov Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: (02)59274-285 e-mail: jan.sedlak@stuba.sk

³ Ing., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra betónových konštrukcií a mostov Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: (02)59274-385 e-mail: andrej.pritula@stuba.sk

⁴ Ing. PhD., VÚIS- MOSTY,s.r.o., Lamačská cesta 8, 811 04 Bratislava, Slovakia e-mail: kucharik.vuismosty@stonline.sk



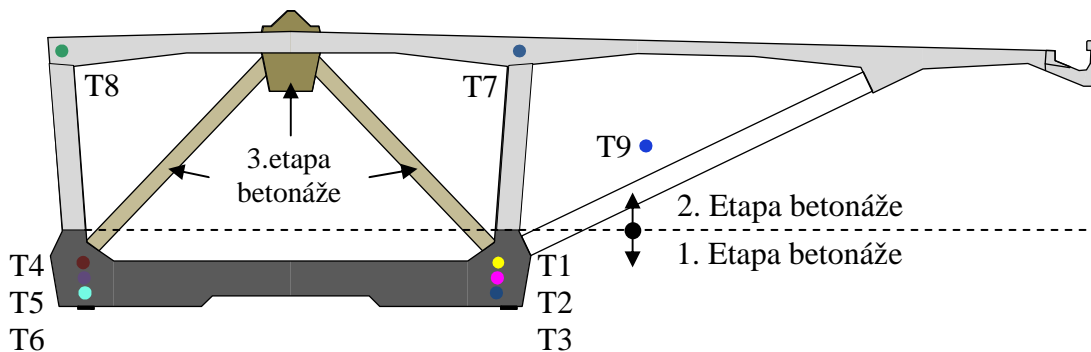
Obr. 1 Tvar lamely

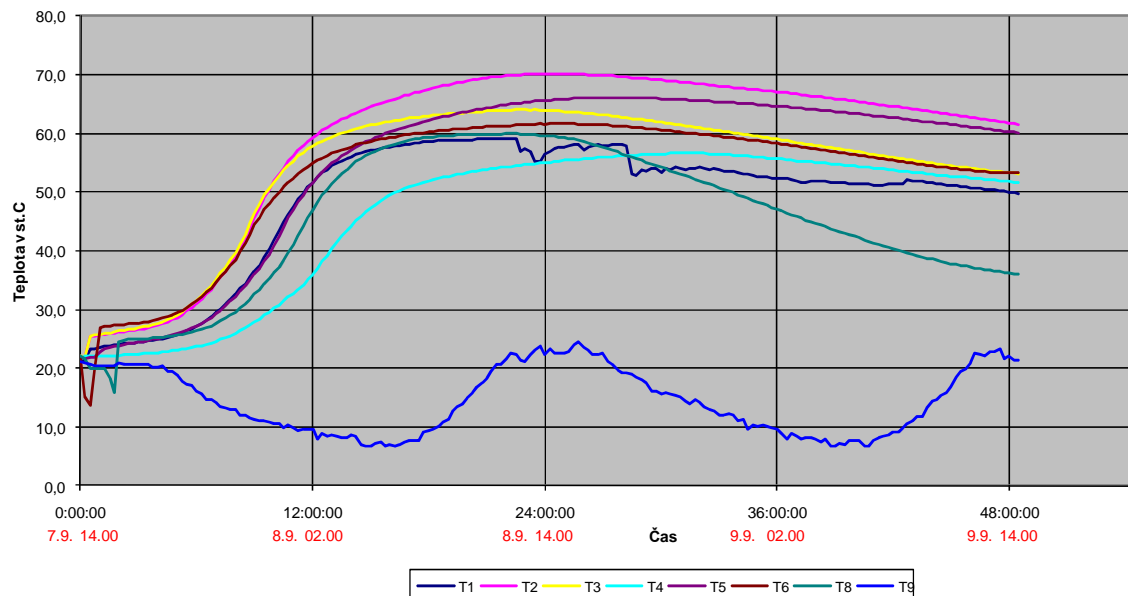
3 MECHANICKÉ A REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BETÓNU

3.1 Meranie hydratačného tepla betónu

Z obr. 1 vidieť rozdelenie hmoty v priečnom reze mosta. Spodná doska komory má hrúbku 0,7 - 0,9m, steny 0,45m, horná doska 0,25 - 0,5m. Pri dĺžke lamely 3,3m bolo potrebné uložiť do debnenia 60m³ betónu, čo predstavuje 4 hodiny betonáže. Z uvedeného vyplynula potreba poznania vývoja hydratačnej teploty betónu ešte pred vlastnou realizáciou mosta a v prípade nepriaznivého vývoja urobiť opatrenia pre jej reguláciu. Receptúra betónu triedy C45/55 ušitá na betonáž mosta bola použitá aj pre skúšobnú lamelu. Vývoj hydratačnej teploty je na obr. 2.

Maximálna teplota v betóne po 24 hodinách od betonáže dosiahla hodnotu 70°C (26°C vonkajšia), teplota klesala veľmi pozvoľne a ešte po 48 hodinách mala hodnotu 60°C (26°C vonkajšia). Ide o relatívne vysoké teploty, ktoré sa dali pre danú receptúru očakávať. Pri týchto teplotách a štandardnom ošetrení betónu sme na lamele nezaznamenali žiadne povrchové trhliny spôsobené vysokou teplotou (teplotným gradientom) resp. zmrašťovaním betónu. Taktiež nebolo zaznamenané ovplyvnenie mechanických vlastností betónov.



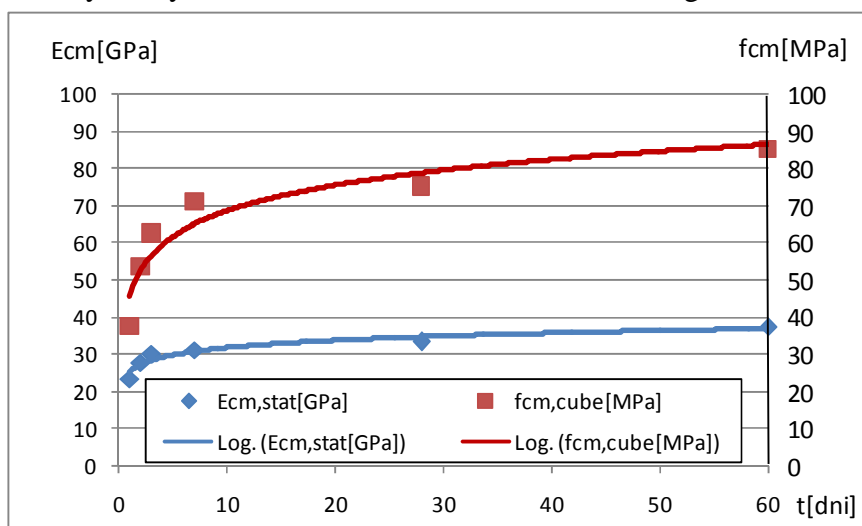


Obr. 2 Tvar lamely, vývoj hydratačného tepla v čase

3.2 Vývoj pevnosti a modulu pružnosti betónu v čase

Vývoj pevnosti použitého betónu v tlaku bol monitorovaný na skúšobných telesách – v každom monitorovanom časovom okamihu bola kocková pevnosť vyhodnotená na kockách s rozmermi 150x150x150mm.

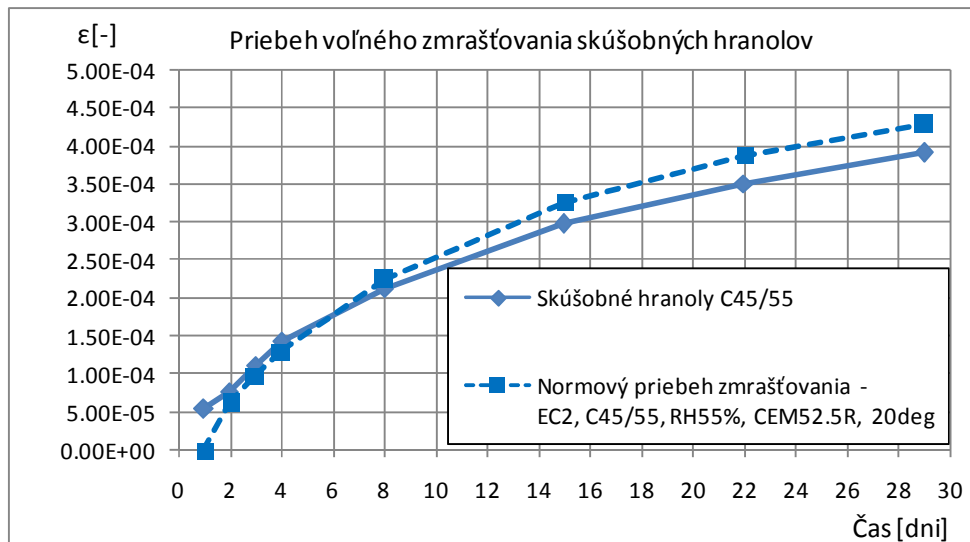
Podobne aj vývoj modulu pružnosti v čase bol monitorovaný na skúšobných hranoloch s rozmermi 100x100x400mm. Na skúšobných telesách bol monitorovaný aj dynamický modul pružnosti. Výsledky skúšok sú zhodnotené v nasledovnom grafe.



Obr. 3 Namerané hodnoty pevností a modulov pružnosti betónu v čase

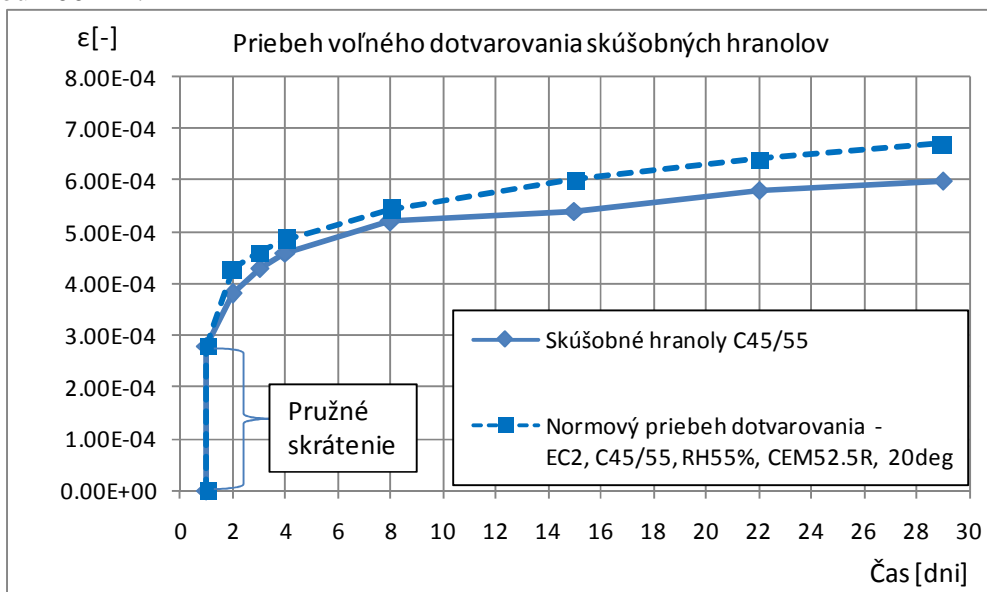
3.3 Vývoj dotvarovania a zmršťovania betónu v čase

Voľné zmršťovanie bolo merané na stavbe vo vonkajšom prostredí. Skrátene boli monitorované na troch skúšobných hranoloch (100x100x400mm) pomocou strunových tenzometrov. Priebeh skrátene spôsobených voľným zmršťovaním je znázornený v nasledovnom grafe:



Obr. 4 Vývoj voľného zmršťovania betónu v čase

Objemové zmeny boli stanovené na troch vzorkách (hranoly 100x100x400mm), tieto boli po odformovaní zaťažené silou 70kN (7MPa) a uložené v laboratórnom prostredí (teplota $20 \pm 3^\circ\text{C}$, RH $55 \pm 5\%$). Skrátene boli merané príložným tisícinným výchylkomerom so základňou 200mm.



Obr. 5 Vývoj dotvarovania betónu v čase

Hranoly mali pri zaťažovaní vek 1deň, odformovanie prebehlo približne po 18 hodinách od betonáže. Pomerné pružné skrátene pri zaťažovaní predstavovalo hodnotu $2,8 \cdot 10^{-4}$, čo pri napätí 7MPa predstavuje modul pružnosti betónu v čase zaťaženia 25GPa.

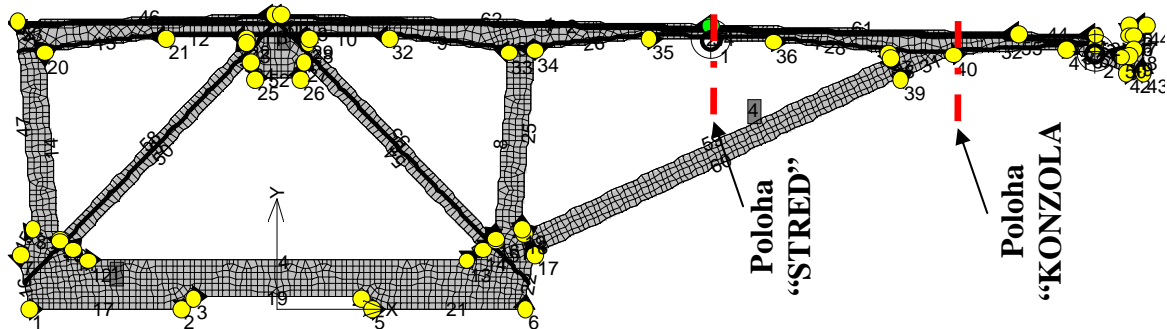
4 ZAŤAŽOVACIA SKÚŠKA

Hlavným cieľom zaťažovacej skúšky bolo overenie statického pôsobenia a únosnosti niektorých častí a prvkov konštrukcie priečného rezu. Zo statického hľadiska je najzaujímavejším prvkom priečného rezu mosta veľké vyloženie konzolovej časti mostovkovej dosky a jej singulárne podoprenie šikmými vzperami. V tejto časti nosnej konštrukcie sú kritickými dva prierezy označené na obr.6 ako Poloha „KONZOLA“ a Poloha „STRED“. Ich únosnosť je výrazne ovplyvnená tlakovou napätosťou od káblov priečného

predpätia mostovkovej dosky. Preto pri napínaní káblov bola podrobne kontrolovaná sila v predpínacej výstuži pomocou elastomagnetických snímačov sily PSS16 a pretvorenie betónu strunovými tenzometrami. Spôsob zaťažovania a výsledky zaťažovacích skúšok sú v kap.4.2 a 4.3.

4.1 Teoretický model

Pre kontrolu meraných hodnôt zo zaťažovacej skúšky lamely bol zostavený výpočtový nelineárny 2D model, zohľadňujúci pracovný diagram betónu, vytvorený z nameraných hodnôt modulov pružnosti a kockových pevnosti betónu. Množstvo mäkkej a predpínacej výstuže je zadané zo vstupných výkresov, podľa ktorých bola lamela zhotovená.



Obr. 6 Teoretický MKP model

4.2 Zaťažovacia skúška – poloha „KONZOLA“

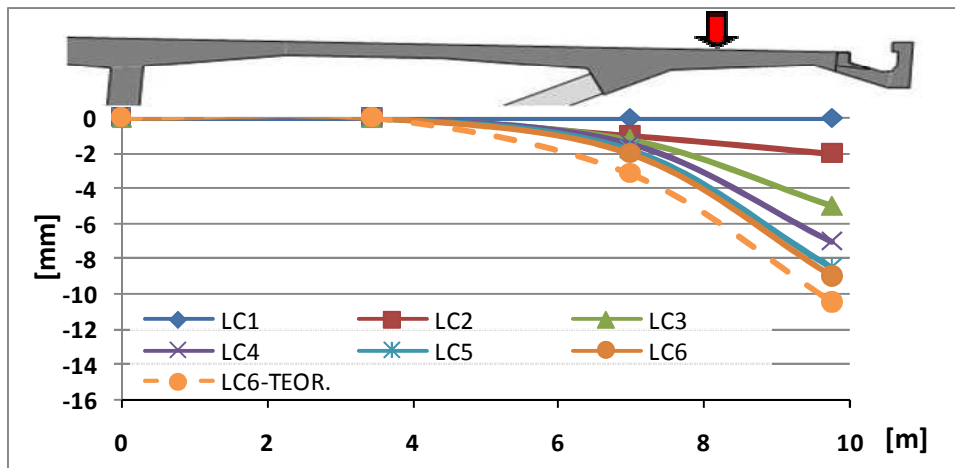
Veľkosť zaťaženia v polohe „KONZOLA“ bola určená z podmienky dosiahnutia dekompresie horných vlákien v priereze č.1. Dekompresia sa očakávala pri zaťažení 375 kN. Konzola bola zaťažovaná betónovými zvodidlami tiaže 35 kN. Tie boli ukladané na koniec konzoly, pozri obr.7. Zvodidla na opačnej strane slúžili na stabilizáciu lamely proti preklopeniu.

Zaťažovanie lamely bolo rozdelené do 6 zaťažovacích stavov (ZS1- 6), pričom na konzole bolo naložených postupne 3, 5, 8, 10 a 12 ks betónových zvodidiel. Zostava 12 zvodidiel poskytla spolu zaťaženie 420 kN, čo bolo o 12% viac ako bolo potrebné na vyvedenie dekompresie v sledovanom priereze.



Obr. 7 Lamela s maximálnym zaťažením konzoly

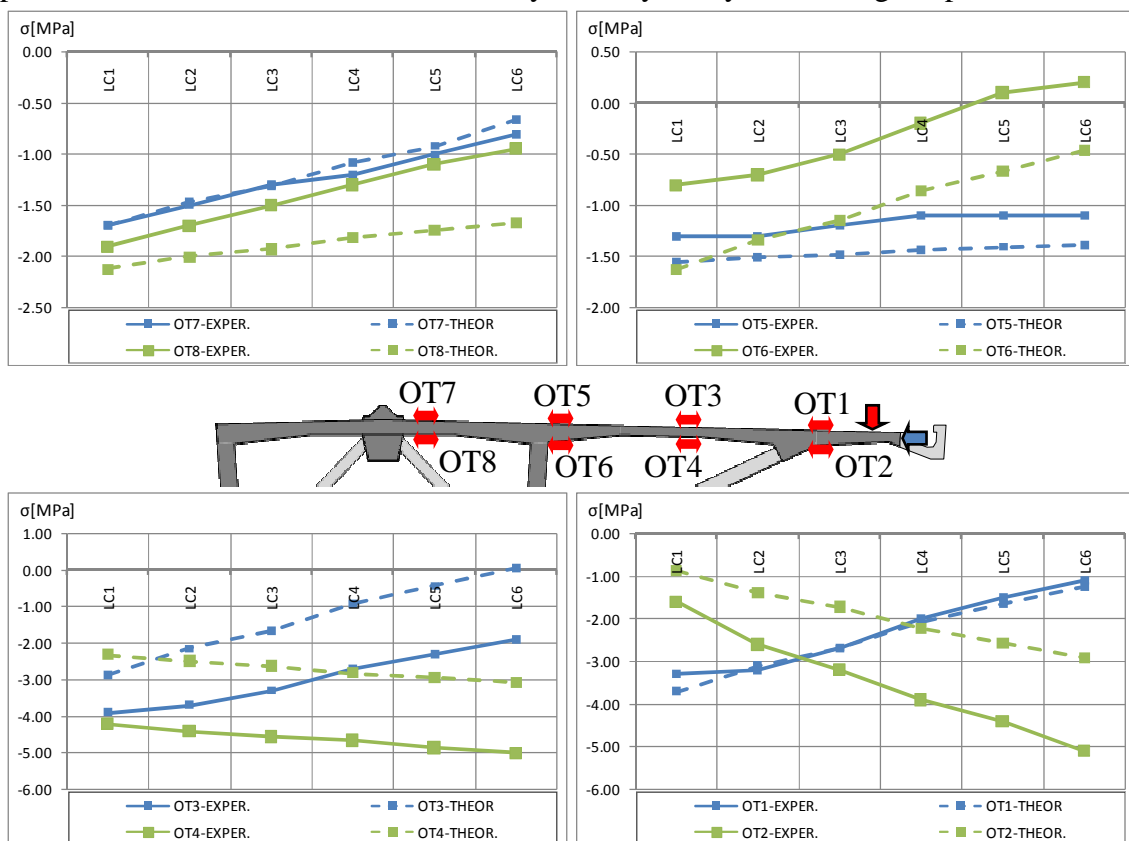
Vybrané výsledky zaťažovacej skúšky – poloha „konzola“, sú znázornené v nasledujúcich grafoch:



Obr. 8 Priehyby – poloha „konzola“

Zmeny polohy uzlových bodov lamely boli merané VP geodéziou z dvoch miest. Zvislé priehyby vybraných bodov boli merané aj elektronickými priehybomermi. Na obr.8 je vykreslený priehyb konzolovej časti lamely od jednotlivých zaťažovacích stavov. Ako vidieť konzolová časť lamely sa deformovala veľmi zhodne s očakávaným teoretickými hodnotami.

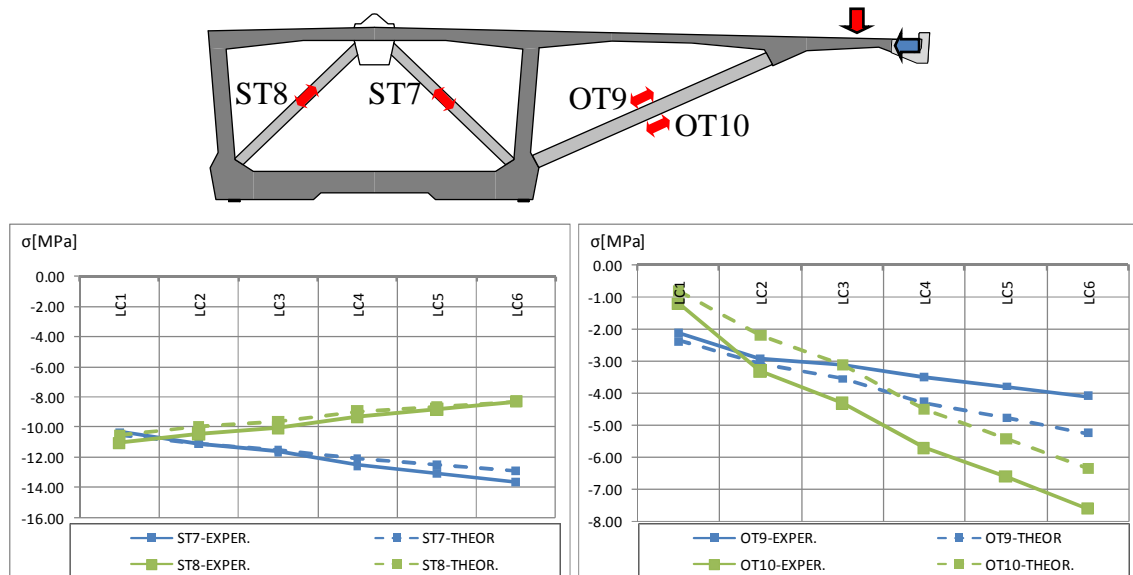
Pomerné pretvorenia prierezov mostovkovej dosky a šikmých vzpier boli merané zabudovanými strunovými resp. lepenými odporovými tenzometrami. Namerané hodnoty boli očistené o účinky teploty a pomocou modulov pružnosti získaných skúškami prepočítané na napätia v betóne. Na obr. 9 sú znázornené vybrané výsledky monitoringu napätosti v betóne.



Obr. 9 Napätosť v betóne – poloha „konzola“

Tlaková rezerva v horných vláknoch spôsobená priečnym predpätím dosahovala hodnoty - 3,2MPa. S plne zaťažou konzolou sme dosiahli zníženie napätia v horných vláknoch prierezu „konzola“ na -1,0MPa (LC6 – 12 zvodidiel). Dekompresia horných vlákien teda nebola dosiahnutá.

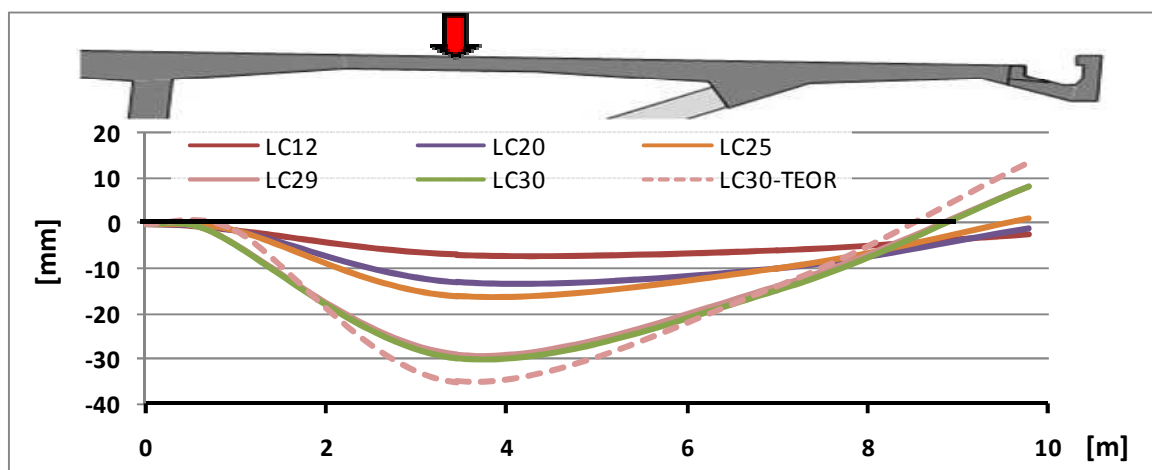
Počas zaťažovacej skúšky boli monitorované aj pretvorenia v šikmých tiahloch a vzpere, tieto boli prepočítané na napätia a porovnané s teoretickým modelom. Opäť je zrejماً dobrá zhoda medzi teoretickými a nameranými hodnotami.



Obr. 10 Napätosť v betóne (vzpera a tiahla) – poloha „konzola“

4.3 Zaťažovacia skúška – poloha „STRED“

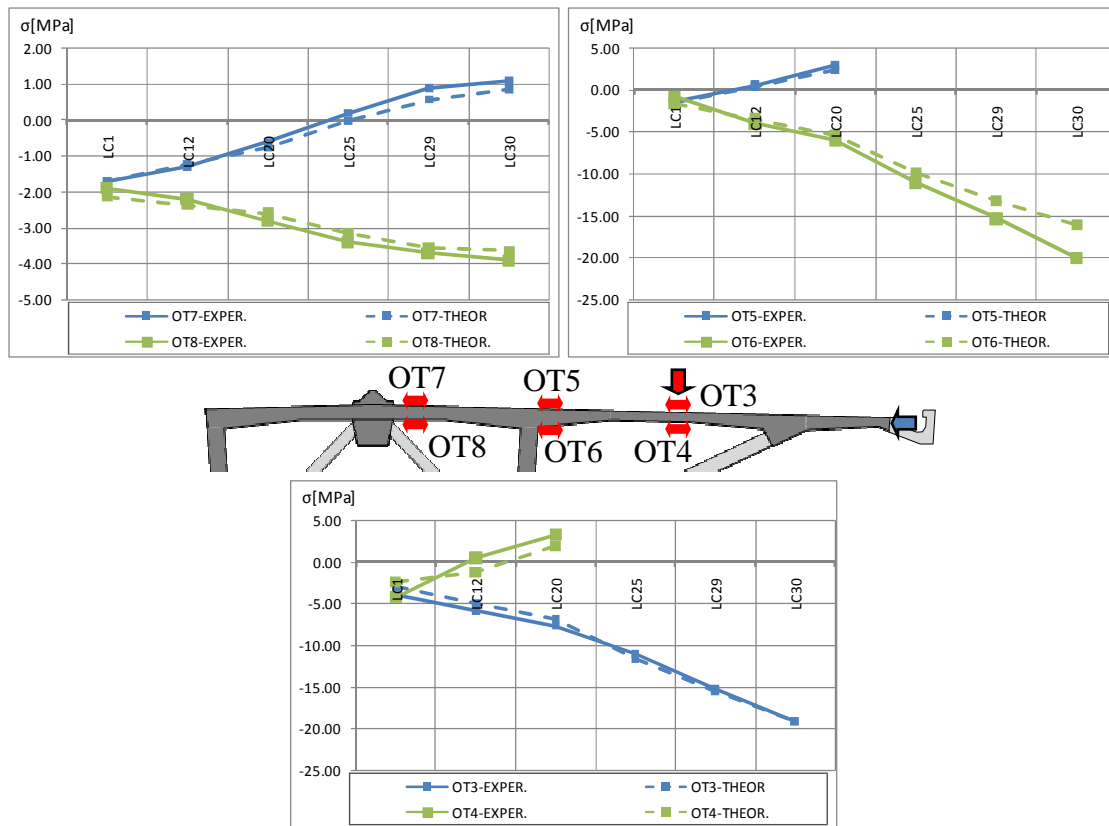
Stred dosky bol postupne zaťažovaný pomocou hydraulických lisov a predpínacích tyčí zakotvených do masívnych oceľových nosníkov, ktoré tvorili podlahu lamely, pozri obr.1 a 7. Limit zaťaženia bol daný maximálnou kapacitou lisov 1000kN. Podľa teoretického výpočtu mali pri sile 300kN vzniknúť prvé trhliny a pri sile 840kN mal prierez stratiť únosnosť.



Obr. 11 Vývoj priechybov pri zaťažovaní – poloha „stred“

Na obr.11 je vykreslený priechyb konzolovej časti lamely od jednotlivých zaťažovacích stavov. Ako vidieť konzolová časť lamely sa deformovala veľmi zhodne s očakávaným

teoretickými hodnotami. Na obr. 12 sú znázornené vybrané výsledky monitoringu napätosti v betóne.



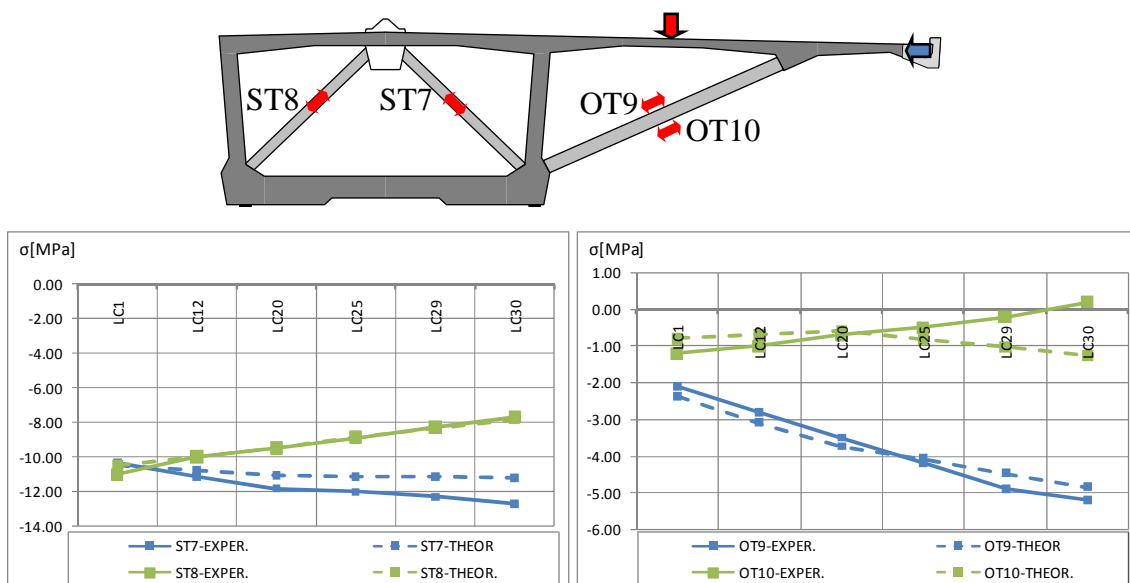
Obr. 12 Napätosť v betóne – poloha „stred“

Počas zaťažovacej skúšky bolo pri dekompresnej sile 190 kN tlakové napätie v spodných vláknoch prierezu dosky -1,5 MPa. Dekompresia tlakovej napätosti v spodných vláknoch prierezu nastala až pri sile 302,3 kN očakávaný stav nastal pri 1,5 násobne väčšom zaťažení.

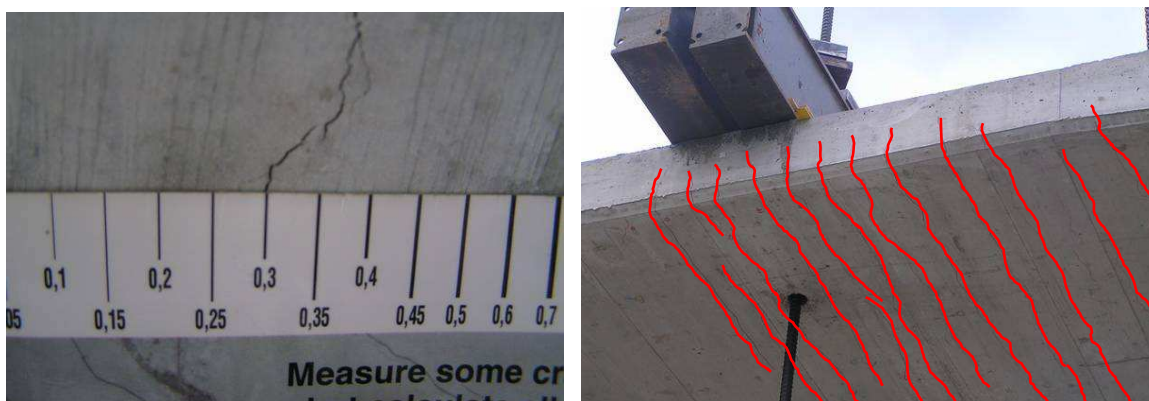
Druhá rozhodujúca sila 300 kN mala vyvolať trhliny v spodných vláknoch, napätie v príslušnom mieste však dosiahlo hodnotu +0,1 MPa, kedy nastala iba dekompresné štádium. Napätie +4,6 MPa, presahujúce ťahovú pevnosť betónu bolo dosiahnuté až pri sile 600 kN, očakávaný stav nastal pri 2 násobne väčšom zaťažení.

Posledná rozhodujúca sila 840 kN mala pre prierez dosky znamenať dosiahnutie únosnosti prierezu, ale vzhľadom k tomu, že nenastal požadovaný stav, v zaťažovaní sa pokračovalo ďalej. Postupne sa dosiahla maximálna sila zaťažovacej hydraulickéj zostavy 1000 kN, kedy bol zreteľne viditeľný rozvoj trhlín na povrchu dosky v mieste jej pripojenia do trámu a na spodnom povrchu v strede dosky pod lismi. Maximálna šírka trhlín dosiahla hodnotu 0,3mm. Po oľahčení sa viaceré trhliny uzavreli. Systém trhlín pri maximálnej sile a meranie ich šírky je znázornené na obr. 14.

Pretvorenia v šikmých tiahloch a vzpere počas zaťažovacej skúšky – poloha „stred“ boli monitorované pomocou strunových tenzometrov, vybrané výsledky sú znázornené na nasledovných obrázkoch. Podobne ako pri predchádzajúcich meraniach vidíme dobrú zhodu medzi teoretickými a nameranými hodnotami.



Obr. 13 Napätosť v betóne (vzpera a tiahla) – poloha „stred“



Obr.14 Trhliny v spodnej časti dosky – poloha „stred“

5 ZÁVERY

Monitoring výroby skúšobnej lamely dokázal vysokú mieru spoľahlivosti výrobných postupov ako aj vysokú kvalitu prác. Monitorované parametre počas výroby lamely dosiahli očakávané hodnoty. Výroba skúšobného segmentu rovnakých rozmerov ako skutočný priečny rez mosta bola vhodným a cenným testom ukladania výstuže, betonáže a zhutňovania čerstvej betónovej zmesi navrhnutej receptúry. Zaťažovacia skúška oboch prierezov preukázala vyššiu kapacitu prierezov v porovnaní s očakávanými hodnotami získanými na základe teoretického modelu. Oba prierezy preukázali svoju vysokú únosnosť pri zaťažení. Väčšina sledovaných parametrov bola v dobrej zhode s teoretickým MKP modelom.

LITERATÚRA

1. Chandoga, M. a kolektív. :“Zaťažovacia skúška skúšobnej lamely”. Záverečná správa a projekt vyhotovenia zaťažovacej skúšky. Projstar-PK, s.r.o, Bratislava, Máj-Jún 2009
2. Kucharík, J. a kolektív. :“ Zaťažovacia skúška skúšobnej lamely – merania napätí a pomerných pretvorení v betóne”. Záverečná správa. VÚIS- Mosty, s.r.o, Bratislava, Jún 2009