

EXPERIMENTÁLNE SLEDOVANIE NAPÄTOSTI A PRETVORENIA SPOJITÉHO NOSNÍKA S VEĽKOU EXCENTRICITOU VK

Ján Sedlák¹ - Milan Chandoga²

ABSTRAKT

Použitie vonkajších káblov (VK) s veľkou excentricitou presahujúcich obrys betónovej konštrukcie predstavuje nový trend v použití dodatočného predpätia mostných konštrukcií. Zvýšenie účinnosti predpínacej výstuže zväčšením jej excentricity voči trámu, bez výraznej zmeny jeho tuhosti sa realizuje dvoma konštrukčnými systémami. Vzperadlovým – umiestnením VK pod spodnú hranu nosnej konštrukcie, a extradosoým – umiestnením VK nad mostovkou trámom. V tomto príspevku sú uvedené niektoré výsledky experimentálneho výskumu prvého typu mostných konštrukcií, ktorý sa realizuje v rámci doktorskej dizertačnej práce Ing. J. Sedláka.

1 ÚVOD

Teoretickému a experimentálnemu výskumu betónových konštrukcií s VK s veľkou excentricitou sa vo svete venuje značná pozornosť. Zistilo sa že chovanie sa týchto konštrukcií sa podstatne líši od štandardných súdržne predpätych konštrukcií. Na základe [1] je možné konštatovať, že najpresnejší výpočet hybridného statického systému je možný postupnou analýzou jednotlivých zaťažovacích štádií. Ohybová únosnosť nosníka s VK pri medznom stave únosnosti závisí od premennej hodnoty napätia v kábli, čo sťažuje samotnú analýzu oproti nosníku s výlučne súdržným predpäťom, a zároveň nárast napätia vo VK je podmienený deformáciou celého prvku a zmenou excentricity VK. Štúdie [2] a [3] mali za cieľ overiť predpoklady zo známych vzťahov. Nelineárna analýza týchto modelov preukázala, že pomer medzi rozpätím a výškou prierezu má menšiu dôležitosť, akú predpokladá literatúra, a na druhej strane sa venuje nedostatočná pozornosť určeniu napätia vo VK, vo vzťahu k umiestneniu zaťaženia. Experimentálny výskum samozrejme nemôže pokryť celý okruh problematiky, je však dôležitý z hľadiska vytvorenia si predstavy o mechanizme – modelu pôsobenia prvkov a ich porušenia. Z tohto hľadiska treba pristupovať aj k prezentácii výsledkov tohto experimentu.

Naším cieľom bolo zistiť skutočné statické pôsobenie sústavy, ktorá sa modelovo odvodzuje od skutočnej mostnej konštrukcie [4], zistiť funkciu VK a model porušenia nosnej konštrukcie. Prednosťou oproti iným experimentálnym prácam je, že máme na Slovensku vyspelú technológiu merania napätosti v predpínacej výstuži a tak sa nemusíme obmedzovať len na prepočet napätosti z dĺžkových zmien VK.

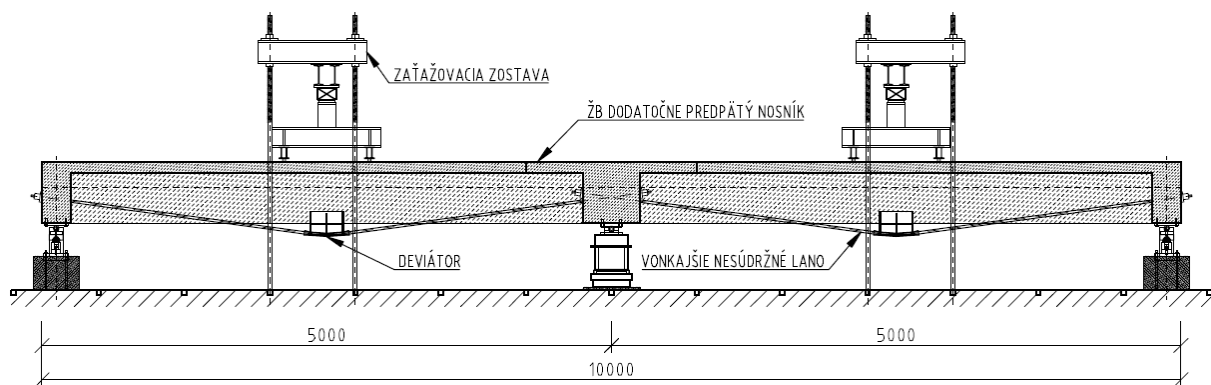
2 OPIS SKÚŠOBNEJ VZORKY A ZAŤAŽOVACEJ ZOSTAVY

Skúšobnú vzorku predstavuje dvojpoľový trámový nosník s priečnym rezom tvaru T s vytvorenými priečnikmi nad všetkými podperami (obr. 1). Konštrukčne je zložený z dvoch prefabrikovaných dielcov dĺžky 4,75 m, ktoré boli v laboratóriu zmonolitnené prostredníctvom stredného priečnika na celkovú dĺžku 10 m. Nosník je predopnutý

¹ Ing., Stavebná fakulta STU v Bratislave, Katedra betónových konštrukcií a mostov, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: (02)59274-295, e-mail: jan.sedlak@stuba.sk

² Doc. Ing. PhD., PROJSTAR-PK spol. s r.o., Nad Dunajom 50, 841 04 Bratislava, tel.: (02)65422432, e-mail: milan.chandoga@stonline.sk

3 súdržnými priamymi lanami a zakrivenými vonkajšími lanami, vedenými cez oceľové deviátory v strede obidvoch polí. Takto vytvorený skúšobný nosník kopíruje tvar a statické riešenie reálnej mostnej konštrukcie [4], [5] s vonkajšími káblami s veľkou excentricitou a vytvára model v zmenšenej mierke. Zaťaženie (obr.1) je vyvodzované dvojicou lisov prostredníctvom zaťažovacej zostavy na priečne roznášacie nosníky. To zabezpečuje, že pôsobenie takto zaťaženého nosníka sa približuje k pôsobeniu nosníka zaťaženého spojitým zaťažením, ktoré je v laboratórnych podmienkach veľmi náročné dosiahnuť. Pre možnosť porovnania výsledkov meraní počas postupného zaťažovania skúšobného nosníka a nosnej konštrukcie mosta je vedenie súdržných káblov a vonkajších káblov prispôbené dosiahnutiu podobného priebehu napätia v betóne pri charakteristických stavoch – pôsobení vlastnej tiaže, dodatočného súdržného predpätia a vonkajšieho predpätia s veľkou excentricitou.

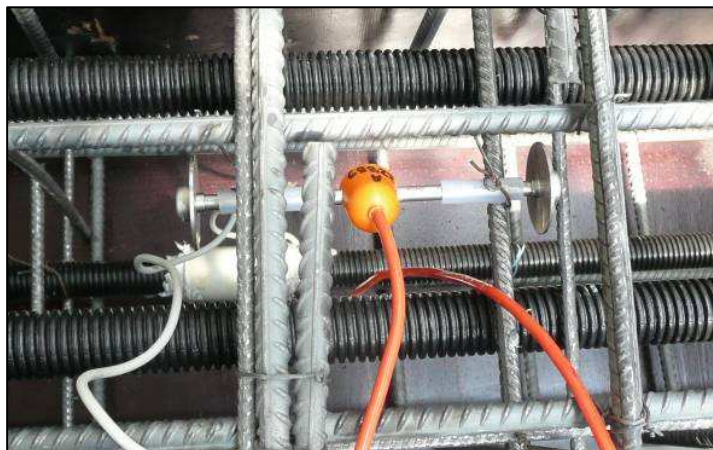


Obr. 1 Schéma skúšobného nosníka

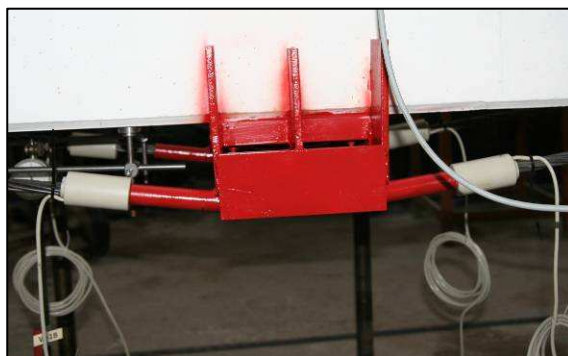
3 PREDMET MERANIA A OSADENIE MERACÍCH SENZOROV

Meranie prihybov sústavy, pretvorenia v betóne a napätosti VK bolo realizované týmito prostriedkami:

- meranie aplikovanej sily zo zaťažovacích lisov a veľkosť reakcií v podperách (strednej a jednej krajnej) pomocou elektronických a mechanických silomerov;
- sledovanie prihybov nosníka v 3 bodoch po dĺžke každého poľa a zároveň pokles podpíer pomocou 1/100 mechanických hodiniek;
- odčítavanie natočenia nosníka na koncoch a nad strednou podperou pomocou libiel;
- meranie pomerných pretvorení na povrchu betónu 1/1000 mechanickými hodinkami a zároveň ich porovnanie s pomernými pretvoreniami, získanými zo strunových tenzometrov Gage Technique (obr. 2);
- sledovanie zmeny predpínacej sily v súdržných lanách a vonkajších lanách pomocou elastomagnetických (EM) snímačov sily PSS20 (obr. 2 a 3);
- sledovanie teploty vo vnútri nosníka pre prípadne korekcie vyhodnotenia meraní.



Obr. 2 Snímač PSS20 na injektovaných lanách a strunový tenzometer Gage Technique



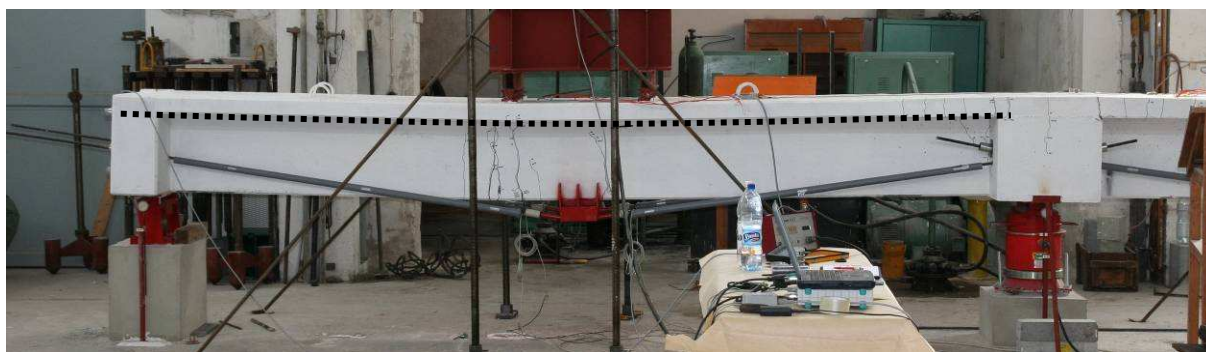
Obr. 3 Krajná podpera so silomerom PAUL a deviátor v strede poľa s EM snímačmi PSS20

4 VYBRANÉ VÝSLEDKY MERANIA

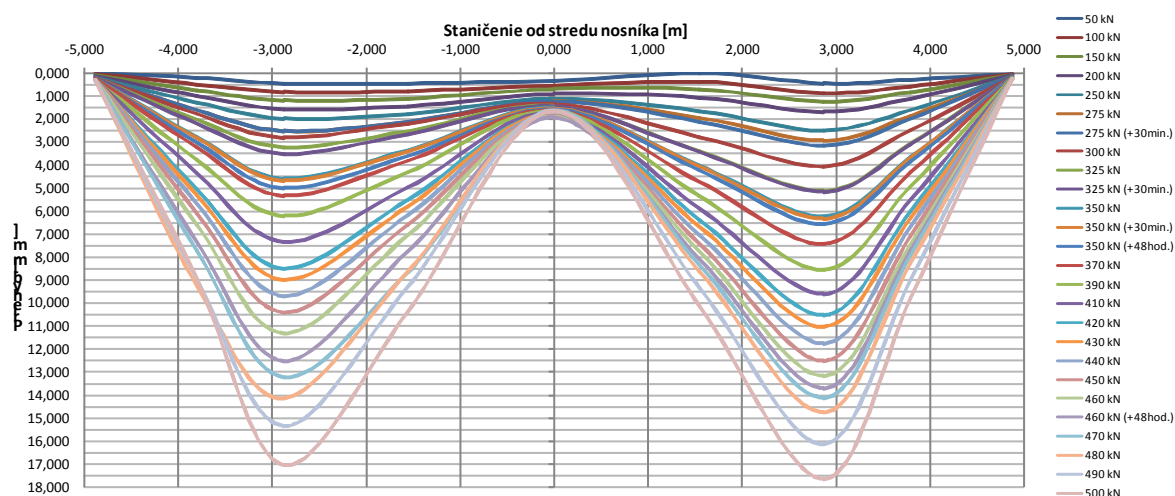
Z dôvodu prebiehajúceho experimentálneho výskumu sú prezentované výsledky ilustratívne. Zaťažovanie prebiehalo počas troch dní. V prvý deň sa nosník postupne zaťažoval (vznik prvých trhlin pri sile 250 kN) až do sily 350 kN na každom poli. Táto sila bol udržiavaná po dobu dvoch dní, potom sa pristúpilo k priťaženiu postupne až na úroveň 460 kN na každom poli. Opäť bola sila udržiavaná a posledný deň meranie skončilo pri hodnote sily 600 kN na každom poli.

4.1 Priehyb

Nárast prihybu bol počas postupného zaťaženia plynulý (obr. 5), vonkajšie laná v spojení s deviátorom vytvárali pružnú podperu v strede poľa. Merali sa aj poklesy podpier. Vzhľadom ku skutočnosti, že sa jedná o hybridnú sústavu so súdržným a vonkajším predpätím, skúška bola limitovaná silou vo vonkajších lanách. Hodnoty prihybu po porušení betónového prierezu v ťahu a plastizácii spodnej mäkkej výstuže v strede poľa predstavovali pomerne nízke hodnoty do 20 mm (obr. 4).



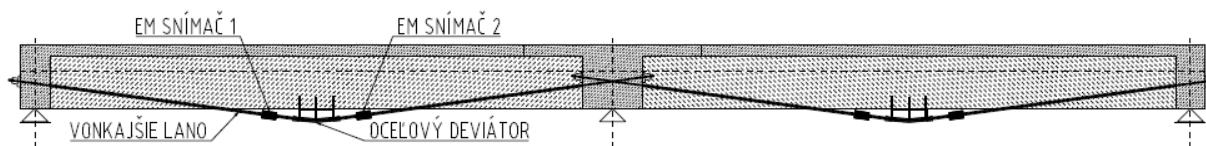
Obr. 4 Priehyb nosníka na konci skúšky



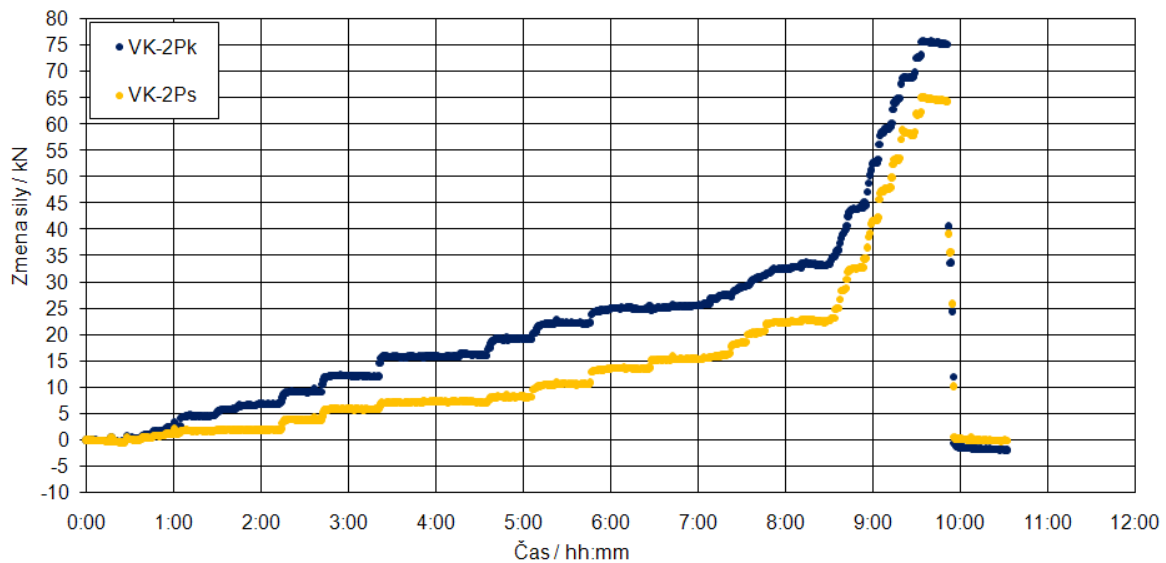
Obr. 5 Nárast priehybu pri postupnom zaťažovaní oboch polí

4.2 Sila vo vonkajšom lane

Vonkajšie laná $\varnothing 15,5$ mm boli predpnuté na predpínaciu silu 120 kN. Na obr. 7 je znázornená zmena sily od začiatku zaťažovania na jednom lane (pred deviátorom a za deviátorom, obr. 6). V lane bola dosiahnutá konečná sila 195 kN pred deviátorom a 185 kN za deviátorom. Z rozdielu síl je možné určiť stratu z trenia v sedle, vytvorenom pre účely skúšky. Po odľahčení zaťažovacieho lisu sa sila v lane dostala na svoju počiatočnú úroveň, t.j. zmena sily oproti začiatočnému stavu pred skúškou bola rovná nulovým hodnotám (obr. 7, celkový čas merania 10 hod.)



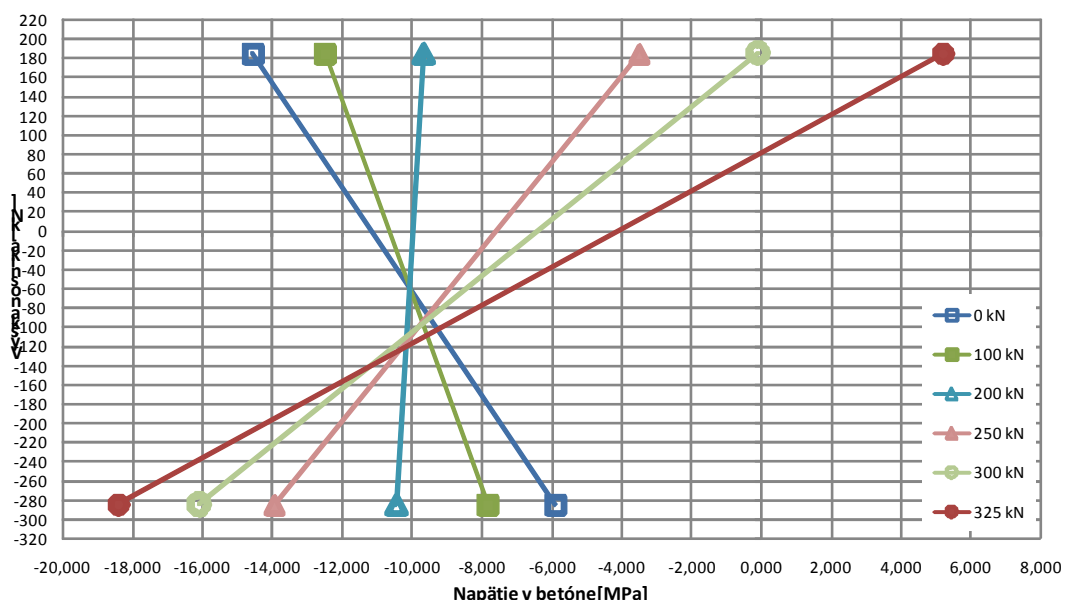
Obr. 6 Schéma vedenia vonkajšieho lana v jednom poli s umiestnením EM snímačov



Obr. 7 Nárast sily vo vonkajšom lane pri postupnom zaťažovaní oboch polí

4.3 Napätie v betóne

Pretvorenie betónu bolo merané prevažne na povrchu betónu mechanickými hodinkami a v hĺbke 35 mm pod povrchom betónu strunovými tenzometrami, ktoré boli umiestnené na mäkkej výstuži prefabrikovaných prostých polí v strede rozpätia (horné a spodné vlákno) a takisto aj v monolitickej dobetonávke (horné vlákno, spodné vlákno a ťažisko prierezu), prevedenej v laboratóriu. Na základe skúšok vzoriek betónových trámčov boli vyhodnotené moduly pružnosti použitých betónov, na základe čoho bolo možné vyhodnotiť napätostný stav betónu. Zobrazené sú výsledky niektorých krokov zaťažovania. Na obr. 8 je možné pozorovať priebeh napätia po výške prierezu nad strednou podperou. Na začiatku bol celý prierez tlačný od predpínacích lán, čomu zodpovedá prvý krok bez zaťaženia nosníka lisami (0 kN), postupne sa horný prierez dostal do dekompresie (zaťaženie 300 kN) a následne do ťahu (zaťaženie 325 kN), kedy už horný tenzometer nemeral pretvorenie betónu, ale šírku trhliny (obr. 9). Spodný prierez naopak dosiahol vysoké tlakové namáhanie a došlo k drveniu betónu povrchovej vrstvy (obr. 10).



Obr. 8 Napätie po výške prierezu nad strednou podperou pri rôznych zaťažovacích krokoch

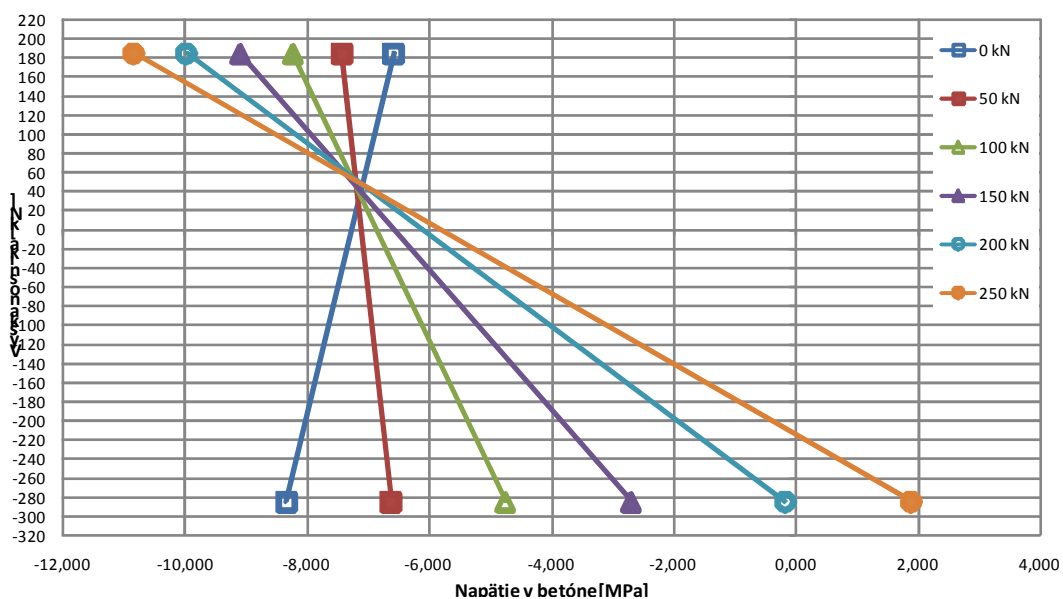


Obr. 9 Porušenie prierezu nad strednou podperou – horné vlákna betónu



Obr. 10 Porušenie prierezu nad strednou podperou – spodné vlákna betónu

Podobne je na obr. 11 vyobrazený priebeh napätia po výške prierezu v strede poľa. Na začiatku bol celý prierez tlačný účinkom predpínacích lán v prvom kroku bez zaťaženia nosníka (0 kN), postupne sa spodný prierez dostal do dekompresie (zaťaženie 200 kN) a následne do ťahu (zaťaženie 250 kN), porušenie je možné vidieť na obr. 12. Horný prierez ostal neporušený, nedosiahlo sa medzné tlakové napätie.



Obr. 11 Napätie po výške prierezu v strede poľa pri rôznych zaťažovacích krokoch



Obr. 12 Porušenie prierezu v strede poľa – spodné vlákna betónu

5 ZÁVERY

Príspevok stručne opisuje niektoré výsledky 1. časti experimentálneho výskumu, ktorý sa realizuje v rámci DDP spoluautora. Ide o finančne a časovo veľmi náročný výskum. Už v tomto štádiu sa však potvrdilo že tento výskum bude užitočný pre pochopenie skutočného statického pôsobenia hybridných sústav a mechanizmu ich porušenia. V programe sú ďalšie dve vzorky a až potom si dovoľíme vysloviť nejaké závery.

LITERATÚRA

- [1] APARICIO, A. C. – RAMOS, G. – CASAS, J. R.: *Testing of externally prestressed concrete beams*. Civil Engineering School, Barcelona, Spain, 2001
- [2] SIVALEEPUNTH, C. – NIWA, J. – BUI, D. K. – TAMURA, S. – HAMADA, Y.: *Significant parameters for evaluating the tendon stress of externally prestressed concrete beams*. Proceedings of the 2nd fib Congress, Naples, Italy, 2006
- [3] PISANI, M. A.: *Geometrical nonlinearity and length of external tendons*. Journal of Bridge Engineering, 2005
- [4] CHANDOGA, M. - SEDLÁK, J. - JAROŠEVIČ, A.: *Monitoring mosta 215-00 na vetve č.2 nad okružnou križovatkou, Diaľnica D1 Fričovce –Prešov. Záverečná správa*. Projstar – PK, s.r.o., December 2009
- [5] CHANDOGA, M. - SEDLÁK, J. - JAROŠEVIČ, A. - SEDLÁK, E.: *Monitoring napätosti mostu na vetve č.2 nad okružnou križovatkou. Diaľnica D1 Fričovce – Prešov západ*. Zborník prednášok z konferencie „Betón na Slovensku 2006 – 2010“, Konferencia SNK fib, Žilina 17. – 18.02.2010