

# SANÁCIA PREDPÄTIA NA VIADUKTE PODTUREŇ MERANIE NAPÄTOSTI PREDPÍNACÍCH KÁBLOV A TEPLoty NOSNEJ KONŠTRUKCIE

Doc. Ing. Milan Chandoga, CSc.  
Stavebná fakulta STU Bratislava  
Doc. RNDr. Andrej Jaroševič, CSc.  
Matematicko-fyzikálna fakulta UK Bratislava

Rekonštrukcia estakády Podtureň je spojená aj s čiastočnou sanáciou predpätia pomocou káblov umiestnených v komore trámu. Na sanácii sa významne podieľa aj firma PROJSTAR PK. s.r.o. Okrem dodávky kotevných systémov boli na moste firmou PROJSTAR vykonané aj rozsiahle merania napätosti vonkajších káblov a teploty nosnej konštrukcie mosta. V článku sú uvedené niektoré výsledky meraní, ktoré boli realizované pri sanácii mosta A.

## ÚVOD

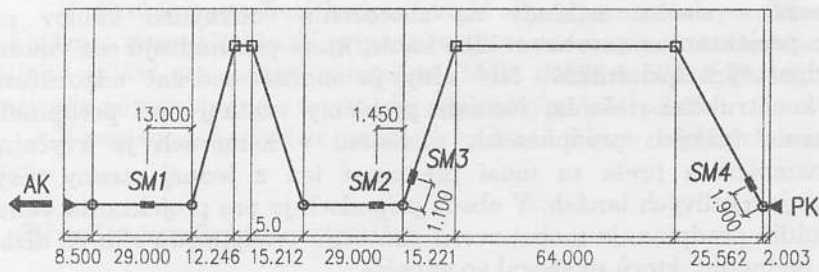
Prvý odborný odhad potrebného množstva rekonštrukcie predpätia vychádzal z podrobného monitoringu, ktorý vykonala SSC. Endoskopická metóda, ktorá bola použitá na určenie korózneho stavu predpätia umožňuje nahliadnúť na predpínacie laná len v pozorovaných miestach. A preto stav predpätia označený ako dobrý nemusí platiť čo len pár centimetrov od pozorovaného miesta. Ďalším nedostatkom metódy je, že je založená len na vizuálnom odhade stupňa korózie. Skutočný úbytok prierezovej plochy predpínacej výstuže môže byť podstatne väčší. Zakonzervovanie starého predpätia bolo uskutočnené pomocou reinjektáže káblových kanálikov. Reinjektáž slúži hlavne na zastavenie ďalšej korózie a nedokáže odstrániť lokálne zvýšenie napätosti kábla v mieste kde došlo k úbytku prierezovej plochy z titulu korózie. Samotná reinjektáž akokoľvek precízne urobená nemusí byť zárukou že niektoré miesta zostanú aj naďalej nezainjektované.

Pri návrhu množstva vonkajšieho predpätia musí projektant citlivo zvažovať aj ďalšie faktory ako:

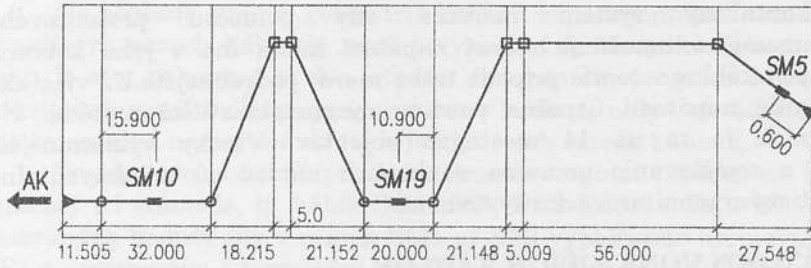
- Aké množstvo predpätia zostáva súčasne v pôsobnosti, ide o globálny úbytok predpätia alebo len lokálny? Z tohto hľadiska môže byť hladina napätosti v niektorých prierezoch tak vysoká že už neznesie ďalšie zvýšenie napätosti od nového predpätia.
- Nespôsobí doplnujúce predpätie lokálne poruchy v betónovom priereze? Najmä pri segmentových konštrukciách nemusí byť lepená škára kontaktná a často je vypodkladaná ocelovými platničkami.
- Aké sú priestorové možnosti riešenia polohy deviátorov a hlavne kotevných zariadení v priečnikoch.

## Cieľ merania

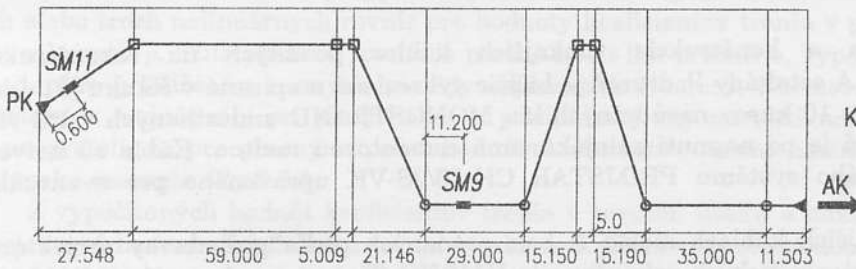
Chovanie sa nosnej konštrukcie po reinjektáži starého predpätia a napnutí vonkajších káblov musí byť predmetom dlhodobého záujmu prevádzkovateľa. Prístupnosť vonkajších káblov a jasné podmienky ich statického pôsobenia poskytujú príležitosť posudzovať vlastnosti nosnej konštrukcie podľa zmien napätosti voľných káblov. Ak dôjde počas prevádzky nosnej konštrukcie k ďalšej degradácii starého predpínacieho systému, prejaví sa to v zmene napätosti vonkajších káblov.



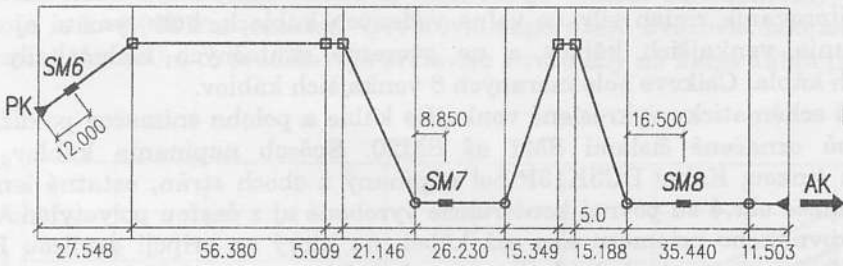
KÁBEL DC1 K6 P



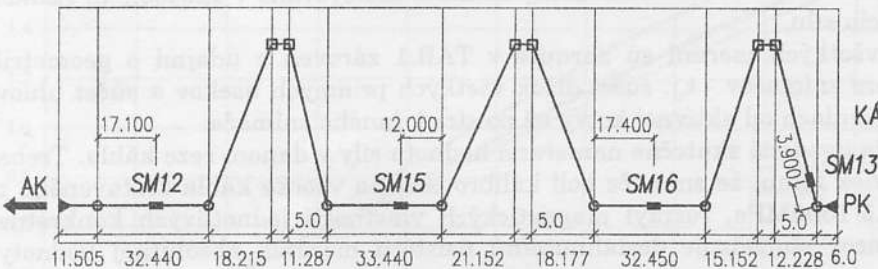
KÁBEL DC2 K13 P



KÁBEL DC2 K2 P



KÁBEL DC3 K2 P



KÁBEL DC3 K13 P

← AK → — AKTÍVNE KOTVENIE  
 ◁ PK ▷ — PASÍVNE KOTVENIE

■ SM12 — SNÍMAČ SILY  
 □ — PODPERA  
 ○ — DEVIÁTOR

Obr. 1 Geometria charakteristických káblov

Vysoká pracnosť a značné náklady na zhotovenie vonkajších káblov pri rekonštrukciách nútia projektantov navrhovať dlhé káble, ktoré prechádzajú cez viacero deviátorov a nadpodporových priečnikov. Nie vždy je možné dodržať odporúčané polomery krivosti a konštrukčné riešenia. Nemalé problémy vznikajú pri predpínaní káblov. Premiestňovanie ťažkých predpínacích zariadení v komorách je zvyčajne obmedzené ak nie nemožné a preto sa musí predpínať len z jednej strany resp. jednolanovým lisom po jednotlivých lanách. V oboch prípadoch je pre projektanta veľmi dôležité aby si už v štádiu predpínania mohol overiť skutočnú predpínicu silu po dĺžke kábla a porovnať ju s hodnotou, ktorú uvažoval vo výpočte.

Štandardný kontaktný systém merania sily pomocou prstencového tenzometrického dynamometra umožňuje merať napätosť kábla iba v jeho kotvení. Zmenu napätosti voľných káblov v tomto prípade treba merať podrobnejšie. Už viac ako 10 rokov sa na meranie napätosti úspešne používa magnetoelastická metóda. Na Slovensku a v Čechách je to už 14 mostných objektov. Všetky významnejšie rekonštrukcie mostov a zosilňovanie pomocou vonkajších káblov sú neodmysliteľne spojené s magnetoelastickým monitorovacím systémom.

## MERANIE NAPÄTOSTI VONKAJŠÍCH KÁBLOV

Geometria a konštrukcia vonkajších káblov použitých na rekonštrukciu predpätia mosta A estakády Podtureň je bližšie vykreslená a opísaná v článku [2]. Ide o káble zostavené z 10 kusov nesúdržných lán MONOSTRAND umiestnených v PE rúre 110/6.6mm, ktorá je po napnutí zainjektovaná cementovou maltou. Káble sú kotvené pomocou kotevného systému PROJSTAR CH-10/2S-VK upraveného pre eventuálnu vymeniteľnosť.

Na vonkajších kábloch mosta A bolo osadených podľa požiadavky projektanta celkom 19 magnetoelastických snímačov sily H110HC. Tieto snímače majú slúžiť hlavne na dlhodobé monitorovanie zmien sily vo voľne vedených kábloch, boli využité aj na kontrolu predpínania vonkajších káblov a na overenie skutočných hodnôt sily v jednotlivých rezoch kábla. Celkovo bolo meraných 8 vonkajších káblov.

Na obr.1 sú schématicky vykreslené vonkajšie káble a poloha snímačov po dĺžke kábla. Snímače sú označené číslami SM1 až SM20. Spôsob napínania káblov je vyznačený hrubou šipkou. Kábel DC3K13P bol napínaný z oboch strán, ostatné len z jednej strany. Snímače obr.4 sú pevnej konštrukcie vyrobené aj s časťou polyetylénovej rúry dĺžky 0.5m rovnakého priemeru ako má kábel, na ktorý sa pripojí dvojicou PE manžiet. Pred osadením na stavbe boli všetky snímače kalibrované v skúšobnom stande na plnú predpínicu silu.

Výsledky všetkých meraní sú zhrnuté v TAB.1 zároveň s údajmi o geometrii kábla a umiestnení snímačov - t.j. súčet dĺžok všetkých priamych úsekov a súčet uhlov vo všetkých zakriveniach od aktívnej kotvy až po stred daného snímača.

V stĺpci 7 je uvedená skutočne nameraná hodnota sily v danom reze kábla. Treba uvažovať, že aj napriek tomu, že snímače boli kalibrované na vzorke kábla zostaveného z pramencov  $L_{p15.5/1800MPa}$ , rozptyl magnetických vlastností jednotlivých konkrétne použitých pramencov obmedzuje dosiahnuteľnú neistotu merania absolútnej hodnoty sily asi na  $\pm 2\%$ .

V stĺpci 6 je uvedená teoretická hodnota sily v danom mieste kábla vypočítaná z projektových hodnôt kotevného napätia 1300MPa koeficientu trenia v zakrivení  $\mu=0.1$ .

V stĺpci 8 je uvedený rozdiel medzi skutočnou a projektovou hodnotou sily v percentách. Ako je vidieť, rozdiel medzi skutočnou a projektovou silou v 19-tich meraných miestach je  $-0.47\%$ .

V stĺpci 9 je uvedená hodnota strát sily v percentách po dĺžke kábla voči snímaču na aktívnej strane kábla. V prípade obojstranne napínaného kábla DC3K13P sú straty počítané zvlášť pre dvojicu snímačov SM12, SM15 a SM13, SM16. Skutočne namerané straty sily sú porovnané s teoreticky spočítanými v stĺpci 10.

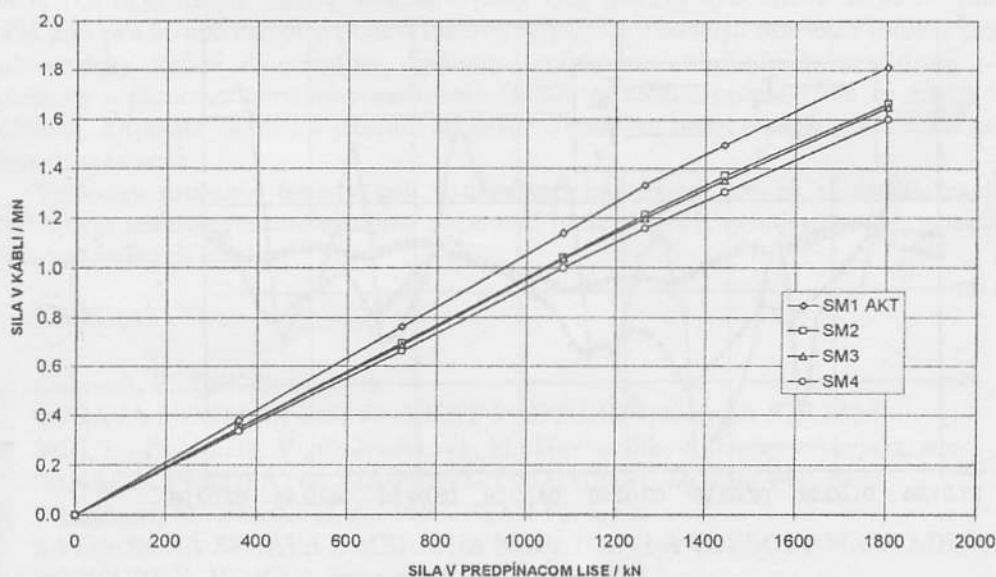
V poslednom stĺpci je uvedená hodnota sily v meraných miestach po zakotvení kábla.

### Výpočet koeficientov trenia

Na základe známej geometrie kábla a experimentálne nameraných hodnôt sily v jednotlivých rezoch kábla je možné vypočítať hodnoty koeficientov trenia v priamom úseku  $k$  a v zakrivení  $\mu$ . Na výpočet bol použitý program Mathcad. Ako východzie hodnoty boli použité dĺžky rovných úsekov kábla  $l_i$ , uhly v deviátoroch a priechnikoch  $a_i$  a experimentálne namerané straty v jednotlivých rezoch kábla  $s_i$ .

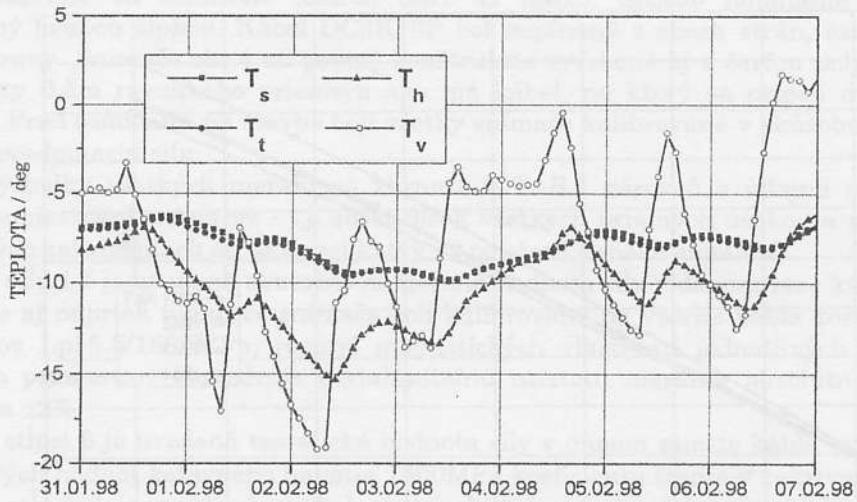
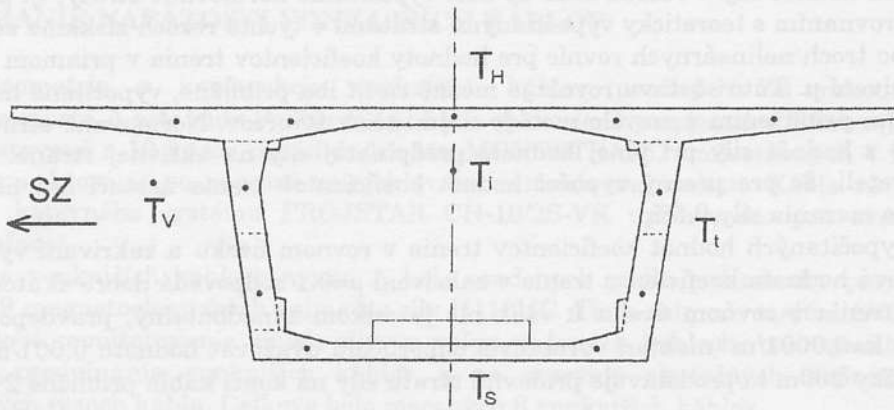
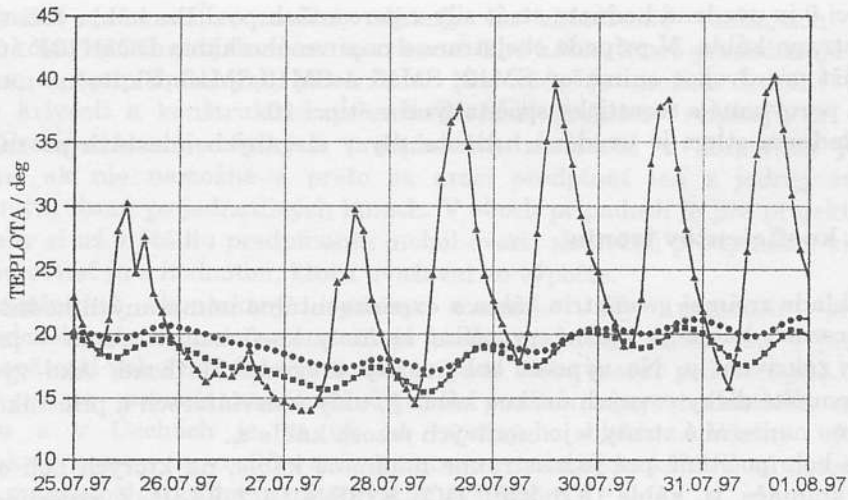
Trenie bolo počítané pre jednostranne napínané káble, na ktorých boli osadené najmenej tri snímače, tj. káble DC1 K6P, DC3 K13P a DC2 K13P. Z experimentálne nameraných hodnôt sily v rezoch SM1 až SM $i$  vypočítame normované straty, tj. pomery  $F_i/F_1$  a porovnaním s teoreticky vypočítanými stratami v týchto rezoch získame sústavu dvoch alebo troch nelineárnych rovníc pre hodnoty koeficientov trenia v priamom úseku  $k$  a v zakrivení  $\mu$ . Túto sústavu rovníc je možné riešiť iba približne, vypočítané hodnoty sú najlepším priblížením v zmysle metódy najmenších štvorcov. Normované straty boli vypočítané z hodnôt sily pri plnej hodnote predpínacej sily na aktívnej strane. Treba mať na zreteli, že pre presný výpočet hodnôt koeficientov trenia nestačí ani neistota relatívneho merania sily 0.5%.

Z vypočítaných hodnôt koeficientov trenia v rovnom úseku a zakrivaní vyplýva, že projektová hodnota koeficientu trenia v zakrivení  $\mu=0.1$  zodpovedá dobre skutočnosti, koeficient trenia v rovnom úseku  $k$  však nie je celkom zanedbateľný, pravdepodobná hodnota je  $k=0.0001/m$  (niektorí výrobcovia odporúčajú uvažovať hodnotu 0.001/m). Pri kábloch dĺžky 200m to predstavuje prídavnú stratu sily na konci kábla približne 2%.

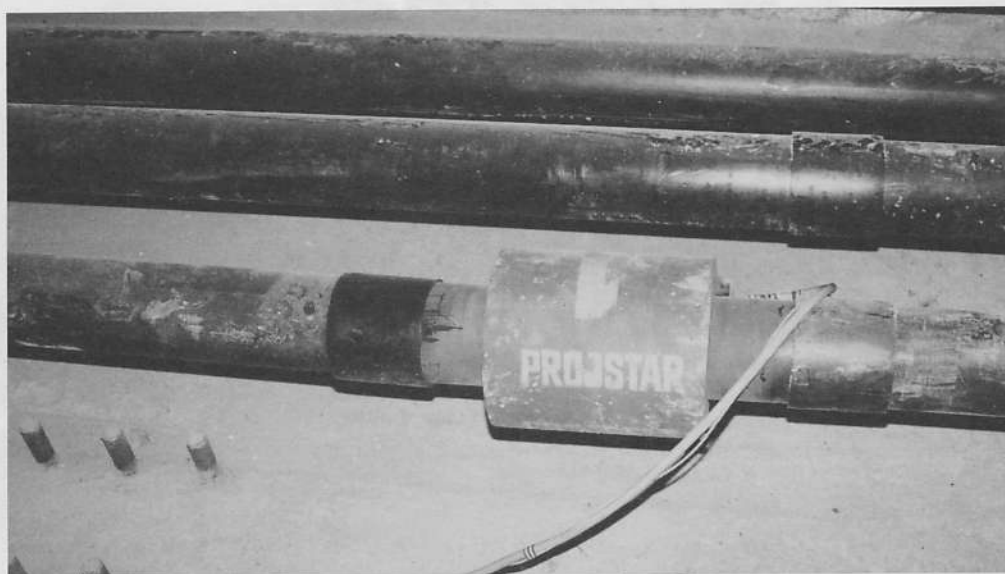


Obr.2 Priebeh sily v jednotlivých rezoch kábla DC1 K6P pri predpínaní





Obr.3 Rozmiestnenie teplomerov a vybrané priebehy teploty v letnom a zimnom období



Obr.4 Snímač sily H110 HC

## MERANIE TEPLoty NOSNEJ KONŠTRUKCIE MOSTA

Podľa požiadavky projektanta boli segmenty PNK 10-A2 4L a PNK 10-A2 11L v poli 9 osadené teplomerami (spolu 30 kusov). Snímače teploty sú osadené vo všetkých častiach priečneho rezu a poskytujú veľmi podrobný obraz o vplyve klimateckej teploty a slnečného žiarenia na teplotu betónu. Rozmiestnenie teplomerov, dané projektantom, spolu s dvoma charakteristickými priebehmi teploty v letnom a zimnom období je na obr.3. Na nepretržité monitorovanie teploty boli použité systémové teplotné monitory STM 255 pre 5 teplomerov (spolu 6 kusov), napájané z batérií. Meranie teploty prebieha automaticky každé dve hodiny, hodnoty teploty sa ukladajú do vnútornej pamäte monitora a pomocou sériového rozhrania RS232 je možné preniesť ich do nadradeného počítača. Kapacita batérií a pamäte spoľahlivo stačí na bezobslužnú prevádzku po dobu štyroch mesiacov.

Výsledky merania teploty boli použité pri nastavení nových dilatácií mosta a v dlhodobom monitorovacom systéme napätosti bude slúžiť k vyčísleniu vplyvu teploty na napätosť voľných káblov.

## LITERATÚRA

- [1] Bulánek, P.: SSC Bratislava  
OPRAVA MOSTA 01-220 VIADUKT PODTUREŇ, Zborník FIP 1998
- [2] Búci, L., Pukančík, V., Gašparíková, M., Harvančík, J.: Dopravoprojekt, a.s.  
SANÁCIA PREDPÄTIA VIADUKTU PODTUREŇ, Zborník FIP 1998
- [3] Chandoga, M., Jaroševič, A.: PROJSTAR PK s.r.o.  
ZÁVEREČNÁ SPRÁVA Z MERANIA NAPÄTOSTI A TEPLoty NA VIADUKTE  
PODTUREŇ, MOST A, Bratislava december 1997